

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003年1月30日 (30.01.2003)

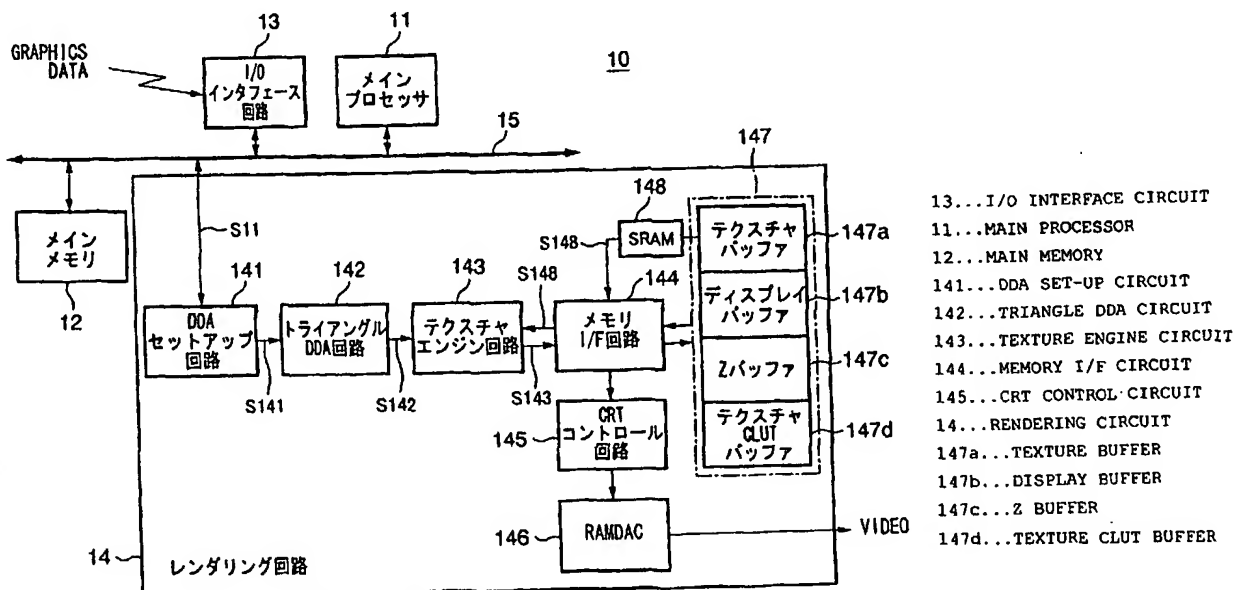
PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/009125 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G06F 7/00, 9/38 (IGARASHI, Masahiro) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/07366
- (22) 国際出願日: 2002年7月19日 (19.07.2002) (74) 代理人: 佐藤 隆久 (SATO, Takahisa); 〒111-0052 東京都台東区柳橋2丁目4番2号 宮木ビル4階 創造国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2001-219127 2001年7月19日 (19.07.2001) JP (81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP). 添付公開書類: 国際調査報告書
- (72) 発明者; および (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 五十嵐 正寛
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: CALCULATION APPARATUS AND IMAGE PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: 演算装置および画像処理装置



(57) Abstract: A calculation apparatus and an image processing apparatus capable of performing various calculations including those not assumed at the stage of development only by electrically modifying connections between a plurality of calculation circuits and having plotting efficiency in three-dimensional graphics sufficient for real-time plotting. The calculation apparatus (201) includes a register file (RF) (2011) and a calculation pool (2012). The calculation pool (2012) has at least one calculation unit (20121 to 20124) for data passing to/from the register file (2011) via a data bus (BS). The calculation units (20121 to 20124) include a plurality of calculators (adder, multiplier, multiplier/adder) (OP1 to OP8) and a connection circuit network (CCN) existing between the register file (2011) and the calculators (OP) and capable of modifying electrical connections with the calculators (OP1 to OP8).

[続葉有]



(57) 要約:

複数個の演算回路間の接続を電氣的に変更することで、各種の演算に対応でき、かつ開発時点で想定されていなかった演算方式にも容易に対応できる、かつ、3次元グラフィックにおいて、実時間での描画に十分な描画能力を有する演算装置および画像処理装置であって、レジスタファイル(RF)2011と、演算器プール2012を有する演算装置201であって、演算器プール2012は、データバスBSによりレジスタファイル2011とのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部20121~20124を有し、各演算部20121~20124は、複数の演算器(加算器、乗算器、乗加算器等)OP1~OP8と、演算器OP1~OP8との間に電氣的な接続を変更可能、レジスタファイル2011と演算器OPとの間に存在する接続回路網CCNを含む。

明 細 書

演算装置および画像処理装置

技術分野

本発明は、たとえばグラフィックス描画処理を行う画像処理装置に適用され、描画する画素の値を演算する演算装置、およびそれを用いた画像処理装置に関するものである。

背景技術

種々のCAD (Computer Aided Design) システムや、アミューズメント装置などにおいて、コンピュータグラフィックスがしばしば用いられている。特に、近年の画像処理技術の進展に伴い、3次元コンピュータグラフィックスを用いたシステムが急速に普及している。

このような3次元コンピュータグラフィックスでは、各画素（ピクセル）に対応する色を決定するときに、各画素の色の値を計算し、この計算した色の値を、当該画素に対応するディスプレイバッファ（フレームバッファ）のアドレスに書き込むレンダリング (Rendering) 処理を行う。

レンダリング処理の手法の一つに、ポリゴン (Polygon) レンダリングがある。この手法では、立体モデルを三角形の単位図形（ポリゴン）の組み合わせとして表現しておき、このポリゴンを単位として描画を行うことで、表示画面の色を決定する。

ポリゴンレンダリングでは、物理座標系における三角形の各頂点についての、座標 (x , y , z) と、色データ (R , G , B) と、張り合わせのイメージパターンを示すテクスチャデータの同次座標 (s , t) および同次項 q の値とを入力し、これらの値を三角形の内部で補間する処理が行われる。

ここで、同次項 q は、実際のテクスチャバッファのUV座標系における座標、すなわち、テクスチャ座標データ (u, v) は、同次座標 (s, t) を同次項 q で除算した「 s/q 」および「 t/q 」に、それぞれテクスチャサイズ $USIZE$ および $VSIZE$ を乗じたものとなる。

図1は、3次元コンピュータグラフィックスシステムの基本的な概念を示すシステム構成図である。

この3次元コンピュータグラフィックスシステムにおいては、グラフィックス描画等のデータは、メインプロセッサ1のメインメモリ2、あるいは外部からのグラフィックスデータを受けるI/Oインタフェース回路3からメインバス4を介してレンダリングプロセッサ5a、フレームバッファメモリ5bを有するレンダリング回路5に与えられる。

レンダリングプロセッサ5aには、表示するためのデータを保持することを目的とするフレームバッファメモリ5bと、描画する図形要素（たとえば三角形）の表面に張り付けるテクスチャデータを保持しているテクスチャメモリ6が結合されている。

そして、レンダリングプロセッサ5aによって、図形要素毎に表面にテクスチャを張り付けた図形要素を、フレームバッファメモリ5bに描画するという処理が行われる。

フレームバッファメモリ5bとテクスチャメモリ6は、一般的にDRAMにより構成される。

そして、図1のシステムにおいては、フレームバッファメモリ5bとテクスチャメモリ6は、物理的に別々のメモリシステムとして構成されている。

ところが、3次元グラフィックス描画処理画像処理装置においては、画像データのメモリへの書き込みや読み出し、画面表示のための読み出しなどメモリへのアクセスは頻繁に行われる。また、描画性能を出すためにはメモリのバス幅を広くとることが必要となる。

そのため、グラフィックス描画画像処理装置とメモリは別々に配置されていたものが配線数の増加により物理的に不可能となり、DRAMとロジック回路を同一チップ内に混載させるようになった。

ところが、上述したような3次元コンピュータグラフィックス描画画像処理装置においては、描画する画素の値を種々の演算を行って算出している。

この画素の値の演算方法としては、種々のものが使用、提案されている。

しかし、従来の3次元コンピュータグラフィックス描画画像処理装置では、演算を実行する回路の構成がLSI製造時点で限定されてしまい、開発時点で想定していない演算方式を適用しようとしても、非常に困難であるか、あるいは不可能である。

他方、マイクロプロセッサのように汎用性の高い演算装置を使用して、3次元コンピュータグラフィックスを描画することは可能であるが、将来普及が予想されているHDTV等を考えた場合、所望の映像を実時間で描画するには、単位時間あたりの描画能力が十分ではなく、実時間での描画は非常に困難である。

発明の開示

本発明の第1の目的は、複数個の演算回路間の接続を電氣的に変更することで、各種の演算に対応でき、かつ開発時点で想定されていなかった演算方式にも容易に対応できる演算装置を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、3次元グラフィックスにおいて、実時間での描画に十分な描画能力を有する画像処理装置を提供することにある。

上記目的を達成するため、本発明の第1の観点に係る演算装置は、複数の演算器を有する演算装置であって、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電氣的な接続網で接続し、複数個の演算器間の電氣的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網を有する。

また、本発明の第2の観点に係る演算装置は、レジスタファイルと、演算器ブ

ールとを有し、上記演算器プールは、データバスによりレジスタファイルとのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部を有し、上記演算部は、複数の演算器と、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数個の演算器間の電気的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網とを含む。

本発明の第3の観点に係る演算装置は、複数の演算ユニットと、上記複数の演算ユニット間を所望の形態で相互に接続するクロスバー回路と、を有し、上記複数の演算ユニットの各々は、入力データに対して所望の演算を行う演算パイプと、隣接する演算ユニットの演算結果データまたは外部からの供給データのうちの一方を選択し、上記演算パイプに入力させるセレクタと、上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を隣接の演算ユニットに転送するストリームレジスタと、を少なくとも有する。

また、本発明の第4の観点に係る画像処理装置は、少なくとも画像データを記憶する記憶回路と、上記記憶回路の記憶データに基づいて、画像データに所定の処理を行うロジック回路とを有し、上記ロジック回路は、複数の演算器を有し、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数個の演算器間の電気的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網を有する演算装置を含む。

また、本発明の第5の観点に係る画像処理装置は、少なくとも画像データを記憶する記憶回路と、上記記憶回路の記憶データに基づいて、画像データに所定の処理を行うロジック回路とを有し、上記ロジック回路は、レジスタファイルと、演算器プールとを有し、上記演算器プールは、データバスによりレジスタファイルとのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部を有し、上記演算部は、複数の演算器と、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数個の演算器間の電気的接続を確立して複数の

演算器からなる演算回路を構成する接続回路網とを含む演算装置を有する。

また、本発明の第6の観点に係る画像処理装置は、グラフィックス処理機能および画像処理機能を有する画像処理装置であって、画像に関するデータを記憶するメモリと、グラフィックス処理時には、少なくとも色に関するデータを含むグラフィックスピクセルデータを生成し、画像処理時には、少なくとも上記メモリに記憶されているデータを読み出すためのソースアドレスを生成する処理ユニットと、上記処理ユニットで生成されたデータに基づいて所定のグラフィックス処理または画像処理を行うコア部と、を有し、上記コア部は、複数の演算ユニットと、上記複数の演算ユニット間および上記メモリと演算ユニット間を所望の形態で相互に接続するクロスバー回路と、を有し、上記複数の演算ユニットの各々は、入力データに対して所望の演算を行う演算パイプと、隣接する演算ユニットの演算結果データまたは外部からの供給データのうちの一方を選択し、上記演算パイプに入力させるセレクタと、上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を隣接の演算ユニットに転送するストリームレジスタと、を少なくとも有する。

好適には、上記演算ユニットは、上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を上記クロスバー回路に転送する第2のストリームレジスタを含む。

また、第6の観点では、上記複数の演算ユニットを含む演算ブロックを複数有し、複数の演算ブロックの各々は、担当する演算処理が割り当てられて固定化されている。

本発明では、上記接続回路網は、制御信号を受けて連続してデータを入力し、ツリー状のデータフロウグラフで表現される演算を実行可能な演算回路を構成する。

また、本発明では、上記接続回路網は、データバス上の所望の位置にセレクタを有し、 $2n$ 本の入力データバスがある場合、 $n-2$ 個の演算器は、入力データ

バス一対と、前段の演算器の出力をセレクタで選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する。

また、本発明では、上記接続回路網は、上記 n 個以外の少なくとも 1 個の演算器は、入力データすべてと、前段の出力を選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する。

また、本発明では、再構成可能な上記データバスを使用してパイプライン処理を行う際に、制御信号を受けて演算器間の電氣的接続を変更することが可能な制御回路を有する。

また、本発明では、上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える。

好適には、上記制御回路、接続網の個々の接続点に対応して設けられ、各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点を制御を切り替える。

好適には、上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各演算器に対応して設けられた各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替え、接続網の個々の接続点に対応して設けられた各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える。

また、本発明では、上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）の 2 つを保持し、演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号と同期して送られ、上記制御回路は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報を次制御情報で書き換える。

また、本発明では、上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）と、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）を保持し、演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが一の演算処理に対するものか、他の演算処理に対するものかを識別可能な情報を示す制御信号と同期して送られ、上記制御回路は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識別情報で示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報、現識別情報をそれぞれ次制御情報、次識別情報で書き換える。

また、本発明では、入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである。

本発明によれば、演算器（加算器、乗算器、乗加算器等）を、電気的な接続網で接続し、複数個の演算器からなる演算回路を構成する。

このようにして構成された演算回路に対して、連続してデータを入力し、演算を行うことが可能となる。

また、ツリー状のデータフローグラフで表現される演算を、効率よくかつ少ない回路規模で実現できる接続網を使用して演算回路を構成することができる。

また、本発明によれば、演算回路を使用して、演算をパイプライン状に実行している際に、演算器間の電気的接続を変更する。

このように動的に演算器間の構成を変更することで、遅滞なく異なる演算が行える。

また、個々の演算器に付加されている制御回路が、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える。

また、接続網の個々の接続点に対し付与された制御回路が、次にとるべき接続

構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、個々の制御回路が自動的に接続点の制御を切り替える。

図面の簡単な説明

図1は、3次元コンピュータグラフィックスシステムの基本的な概念を示すシステム構成図である。

図2は、本発明に係る3次元コンピュータグラフィックスシステムの構成を示すブロック図である。

図3は、本発明に係る演算装置を適用した3次元グラフィックス描画装置の基本的な構成を示すブロック図である。

図4は、本発明に係る演算装置の構成例を示すブロック図である。

図5は、本発明に係る接続回路網CCNの第1の構成例を示す図である。

図6は、本発明に係るセレクトの構成例を示す図である。

図7は、本発明に係る接続回路網CCNの第2の構成例を示す図である。

図8は、本発明に係る接続回路網CCNの第3の構成例を示す図である。

図9は、本発明に係るセレクトの他の構成例を示す図である。

図10は、本発明に係るセレクトの他の構成例を示す図である。

図11は、本発明に係る接続回路網CCNの第4の構成例を示す図である。

図12は、本発明に係る演算装置の演算実行の概略についての説明図であって、演算のデータフローグラフを示す図である。

図13は、本発明に係る演算装置の演算実行の概略についての説明図である。

図14は、本発明に係る演算装置のパイプライン処理の説明図である。

図15は、本発明に係る演算装置の動的再構築の第1の実現方法について説明するための図である。

図16は、本発明に係る演算装置の動的再構築の第1の実現方法について説明するための図である。

図 1 7 は、本発明に係る演算装置の動的再構築の第 2 の実現方法について説明するための図である。

図 1 8 は、本発明に係る演算装置の動的再構築の第 2 の実現方法について説明するための図である。

図 1 9 は、本発明に係る演算装置の動的再構築の第 2 の実現方法について説明するための図である。

図 2 0 は、本発明に係る演算装置において拡散による画素色への寄与成分を形成する場合の動作を説明するための図である。

図 2 1 は、本発明に係る演算装置において拡散による画素色への寄与成分を形成する場合の動作を説明するための図である。

図 2 2 は、図 7 の接続回路網を例とした演算装置の動的再構築の第 1 の具体例を説明するための図である。

図 2 3 は、図 7 の接続回路網を例とした演算装置の動的再構築の第 2 の具体例を説明するための図である。

図 2 4 は、本発明に係るデータ格納方法を説明するための図である。

図 2 5 は、本発明に係る同一半導体チップ内に混載されるレンダリング回路のロジック回路と D R A M および 2 次メモリとの好適な構成、配置および配線方法を説明するための図である。

図 2 6 は、本発明に係る D R A M モジュールの構成例を説明するための図である。

図 2 7 は、本発明に係る D D A セットアップ回路の機能を説明するための図である。

図 2 8 は、本発明に係るトライアングル D D A 回路の機能を説明するための図である。

図 2 9 は、本発明に係るトライアングル D D A 回路の頂点のソート処理を説明するための図である。

図 3 0 は、本発明に係るトライアングル D D A 回路の水平方向の傾き算出処理を説明するための図である。

図 3 1 A、図 3 1 B は、本発明に係るトライアングル D D A 回路の頂点データの補間手順を説明するための図である。

図 3 2 は、本発明に係るトライアングル D D A 回路の頂点データの補間手順を説明するためのフローチャートである。

図 3 3 は、本発明に係る演算装置を採用可能な画像処理装置の第 2 の実施形態を示すブロック構成図である。

図 3 4 は、本発明に係るコア部の具体的な構成例を説明するための図である。

図 3 5 は、第 2 の実施形態に係る演算ユニット群の演算ユニットの具体的な構成例を示す回路図である。

図 3 6 は、各種演算処理を行う演算パイプの具体的な構成例を示す回路図である。

図 3 7 は、ストリームレジスタ S R の具体的な構成例を示す図である。

図 3 8 A、図 3 8 B は、ストリームレジスタの動作を説明するための図である。

図 3 9 は、クロスバー回路の構成例を示す回路図である。

図 4 0 は、第 1 のデータ選択回路の構成例を示す回路図である。

図 4 1 は、第 2 のデータ選択回路の構成例を示す回路図である。

図 4 2 は、クロスバー回路を制御して、各入力データを適切な演算ユニットの入力へと伝播させる一例を示す図である。

図 4 3 は、キャッシュの構成、機能を説明するための図であって、リード系を示し図である。

図 4 4 は、キャッシュの構成、機能を説明するための図であって、ライト系を示し図である。

図 4 5 A、図 4 5 B は、リコンフィギュラブルの演算処理について説明するた

めの図である。

図46は、コンボリューションフィルタリング処理についての説明図である。

図47は、コンボリューションフィルタリング処理についての説明図であって、1画素ずれた位置での計算を行う場合を説明するための図である。

図48A、図48Bは、コンボリューションフィルタリング処理に対応した並列演算の例について説明するための図である。

図49は、コンボリューションフィルタリング処理に対応した並列演算のさらに具体的な例について説明するための図である。

図50は、演算ユニット群が担当する演算対象を固定化してグラフィックス処理を行う場合のコア部の構成例を示す図である。

図51は、色計算担当の演算ブロックの演算処理を説明するための図である。

図52は、色計算担当の演算ブロックの具体的な演算処理を説明するための図である。

図53は、色計算担当の演算ブロックの具体的な演算処理を説明するための図である。

図54は、色計算担当の演算ブロックの具体的な演算処理の他の例を説明するための図である。

図55は、フィルタ担当の演算ブロックの演算処理を説明するための図である。

。

図56が、フィルタ担当の演算ブロックの具体的な演算処理を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、第1の実施形態として、パーソナルコンピュータなどに適用される、任意の3次元物体モデルに対する所望の3次元画像をCRT (Cathode Ray Tube)などのディスプレイ上に高速に表示するグラフィックス処理機能を有する3次元コンピュータグラフィックスシステムとしての画像処理装置について説明する。そしてその後、第2の実施形態として、同様のシステムにおいてグラフィックス処理機能および画像処理機能を有し、複数の処理データを共有して並列処理を行う画像処理装置について説明する。

第1実施形態

図2は、本発明に係る演算装置を採用可能な画像処理装置の第1の実施形態を示すシステム構成図である。本第1の実施形態に係る画像処理装置10は、グラフィックス処理機能を有する3次元コンピュータグラフィックスシステムとして構成されている。

3次元コンピュータグラフィックスシステムは、立体モデルを単位図形である三角形（ポリゴン）の組み合わせとして表現し、このポリゴンを描画することで表示画面の各ピクセルの色を決定し、ディスプレイに表示するポリゴンレンダリング処理を行うシステムである。

また、3次元コンピュータグラフィックスシステムでは、平面上の位置を表現する(x, y)座標の他に、奥行きを表すz座標を用いて3次元物体を表し、この(x, y, z)の3つの座標で3次元空間の任意の一点を特定する。

図2に示すように、3次元コンピュータグラフィックスシステムとしての画像処理装置10は、メインプロセッサ11、メインメモリ12、I/Oインタフェース回路13、および本発明に係る演算装置を含む3次元グラフィックス描画装置としてのレンダリング回路14がメインバス15を介して接続されている。

以下、各構成要素の機能について説明する。

メインプロセッサ11は、たとえば、アプリケーションの進行状況などに応じ

て、メインメモリ 12 から必要なグラフィックスデータを読み出し、このグラフィックスデータに対してクリッピング (Clipping) 処理、ライティング (Lighting) 処理などのジオメトリ (Geometry) 処理などを行い、ポリゴンレンダリングデータを生成する。メインプロセッサ 11 は、ポリゴンレンダリングデータ S11 を、メインバス 15 を介してレンダリング回路 14 に出力する。

I/O インタフェース回路 13 は、必要に応じて、外部から動きに係る制御情報、色に係る演算情報、あるいはポリゴンレンダリングデータ等を入力し、これをメインバス 15 を介してレンダリング回路 14 に出力する。

レンダリング回路 14 に入力されるポリゴンレンダリングデータは、ポリゴンの各 3 頂点の (x, y, z, R, G, B, α , s, t, q, F) のデータを含んでいる。

ここで、(x, y, z) データは、ポリゴンの頂点の 3 次元座標を示し、(R, G, B) データは、それぞれ当該 3 次元座標における赤、緑、青の輝度値を示している。

α データは、これから描画するピクセルと、レンダリング回路 14 のディスプレイバッファに既に記憶されているピクセルとの R, G, B データのブレンド (混合) 係数を示している。

(s, t, q) データのうち、(s, t) は、対応するテクスチャの同次座標を示しており、q は同次項を示している。ここで、「s/q」および「t/q」に、それぞれテクスチャサイズ USIZE および VSIZE を乗じてテクスチャ座標データ (u, v) が得られる。テクスチャバッファに記憶されたテクスチャデータへのアクセスは、テクスチャ座標データ (u, v) を用いて行われる。

F データは、フォグの α 値を示している。

すなわち、ポリゴンレンダリングデータは、三角形の各頂点の物理座標値と、それぞれの頂点の色とテクスチャデータを含んでいる。

以下、本発明に係る演算装置を含むレンダリング回路 14 について詳細に説明

する。

図2に示すように、レンダリング回路14は、DDA(Digital Differential Analyzer) セットアップ回路141、トライアングルDDA回路142、テクスチャエンジン回路143、メモリインタフェース(I/F)回路144、CRTコントロール回路145、RAMDAC回路146、DRAM147およびSRAM(Static RAM)148を有する。

本実施形態におけるレンダリング回路14は、一つの半導体チップ内にロジック回路と少なくとも表示データとテクスチャデータとを記憶するDRAM147とが混載されている。

本第1の実施形態では、まず、本発明に係る演算装置を適用した3次元グラフィックス描画装置(レンダリング回路14)の基本的な構成および機能について説明する。

そしてその後、DRAM147、DDAセットアップ回路141、トライアングルDDA回路142、テクスチャエンジン回路143、メモリI/F回路144、CRTコントロール回路145、およびRAMDAC回路146の機能について順を追って説明する。

図3は、本発明に係る演算装置を適用した3次元グラフィックス描画装置の基本的な構成を示すブロック図である。

本3次元グラフィックス描画装置200は、図3に示すように、演算装置201、大容量メモリ(LSI上ではDRAM)202、および外部機器とのインターフェース、メモリ202へのリード・ライトを制御する制御回路203を有する。

これらの構成要素を図2のレンダリング回路14の構成要素と対応付けると、図3の演算装置201は図2のテクスチャエンジン回路143に含まれ、メモリ202は、DRAM147に相当し、制御回路203はDDAセットアップ回路141、トライアングルDDA回路142、テクスチャエンジン回路143、メ

メモリ I/F 回路 144、CRT コントロール 回路 145、および RAMDAC 146 回路を含む。

制御回路 203 は、外部の I/O インターフェース 13 から入力されたデータ、またはメモリ 202 に格納されたデータを必要に応じて演算装置 201 に入力し、演算装置 201 から出力されるデータをメモリ 202 に格納する。

このデータは主として、演算の中間データや描画する画素値である。

また、制御回路 203 は、たとえばメモリ 202 の内容を外部インターフェースを経由して出力する。

出力先としては TV、LCD ディスプレイなどの表示装置であり、本 LSI に接続される場合も、外部に接続された装置を経由して表示する場合もある。

演算装置 201

演算装置 201 は、制御回路 203 から入力されるデータ、たとえば描画する対象の表面に関する情報（面の方向、色、反射率、模様（テクスチャ）等）、表面にあたる光に関する情報（入射方向、強さなど）、過去の演算結果（演算の中間値）等が一般的である。

演算装置 201 は、複数の演算器を有し、たとえば制御回路 203 やメインプロセッサ 11 等の外部回路からの制御により演算経路を再構成可能な演算装置であって、所望の演算を実現するように、内部の演算器間の電氣的接続を確立し、制御回路 203 から入力されたデータを、演算器と電氣的接続網（インターコネクト）から形成される一連の演算器のデータパスに入力することで演算を行い、演算結果を出力する。

すなわち、演算装置 201 は、再構成可能なデータパスをたとえば複数有し、演算器（加算器、乗算器、乗加算器等）を、電氣的な接続網で接続し、複数個の演算器からなる演算回路を構成する。

そして、演算装置 201 は、このようにして再構成された演算回路に対して、連続してデータを入力し、演算を行うことが可能であり、たとえば 2 入力 1 出力

の逆二分木状のデータフローグラフで表現される演算を、効率よくかつ少ない回路規模で実現できる接続網を使用して演算回路を構成することが可能である。

図4は、演算装置201の構成例を示すブロック図である。

本演算装置201は、図4に示すように、FIFO(First-In First-Out)構造を有するレジスタファイル(RF)2011と、演算器プール2012を有する。

演算器プール2012は、データバスBSによりレジスタファイル2011とのデータの授受を行う少なくとも一つの(図4の例では4つの)演算部20121~20124を有する。

各演算部20121~20124は、複数(図4の例では8個)の演算器(加算器、乗算器、乗加算器等)OP1~OP8と、演算器OP1~OP8との間に電気的な接続を変更可能な接続回路網CCNを含む。

すなわち、演算装置201の基本的な構成は、レジスタファイル2011と演算器OPとの間に接続回路網CCNが存在することである。

また、レジスタファイル2011と接続回路網CCNの間に、値を変換するための回路が存在しても良い。

このように、レジスタファイルを独立して持たせることで、回路量を削減できる。

また、たとえば各グループに1つのレジスタファイルを持つ。

図4の例では、各演算部20121~20124は、データバスBSを介して個別にレジスタファイル2011とのデータの授受を行うような構成となっている。ただし、たとえば他の信号ラインで各演算部20121~20124間を接続して、一の演算部の演算結果を他の演算部で用いて演算を行うように構成する等の態様も可能である。

図5は、本発明に係る接続回路網CCNの第1の構成例を示す図である。

接続回路網CCNの構成の特徴は、たとえば2n本の入力バスがある場合、2

個の演算器に対してはレジスタファイル2011からの一対を入力し、 $n-2$ 個の演算器に対しては、レジスタファイル2011からの一対の入力と、前段（左側）の演算器の出力をセレクトで選択して自段の演算器に入力する。そして、残りの演算器に対しては、レジスタファイル2011からの入力バスL11, L12を除く入力すべてと、前段（左側）の出力を選択して演算器に入力する。

図5の接続回路網CCNは、4対、8本の入力バスL11, L12, L21, L22, L31, L32、およびL41, L42を有する構成例である。

図5において、入力バスの所定の交差点において示す黒丸がセレクトを表している。図6に各セレクトの構成例を示す。

なお、図中の線は、束線（2本以上の信号線の集まり）を示している。

また図5は、7つの演算器OP1～OP7を有する構成例を示しており、並列に配置された演算器の入力から出力までをステージSTG1～STG7（最終のステージ7の演算器OP7の出力はレジスタファイルにデータが送られる）として次のような構成となっている。

すなわち、第1ステージSTG1では、演算器OP1の入力に対して一対の入力バスL11, L12が接続され、演算器OP1の出力が次段以降（図5の例では第3ステージSTG3の入力側）に接続されている。

第2ステージSTG2では、演算器OP2の入力に対して一対の入力バスL21, L22が接続され、演算器OP2の出力が第3ステージSTG3の入力側に接続されている。

第3ステージSTG3では、演算器OP3の入力に対して一対の入力バスL31, L32が接続され、演算器OP3の出力が第4ステージSTG4の入力側に接続されている。そして、入力バスL31, L32に対して第1ステージSTG1の演算器OP1の出力ラインおよび第2ステージSTG2の演算器OP2の出力ラインが交差しており、これら4つの交差点にそれぞれ図6に示すセレクトSLCが配置されている。

第4ステージSTG4では、演算器OP4の入力に対して一対の入力バスL41, L42が接続され、演算器OP4の出力が第5ステージSTG5の入力側に接続されている。そして、入力バスL41, L42に対して第1ステージSTG1の演算器OP1の出力ライン、第2ステージSTG2の演算器OP2の出力ラインおよび第3ステージSTG3の演算器OP3の出力ラインが交差しており、これら6つの交差点にそれぞれ図6に示すセクタSLCが配置されている。

第5ステージSTG5では、演算器OP5に対してレジスタファイル2011からの入力バスL21～L42を介する複数の入力と、第1～第4ステージSTG1～STG4の出力を選択して入力されるように、入力バスL42と入力バスL21, L22, L31, L32, L41との10個の交差点、並びに、第1ステージSTG1の演算器OP1の出力ライン、第2ステージSTG2の演算器OP2の出力ライン、第3ステージSTG3の演算器OP3の出力ライン、および第4ステージSTG4の演算器OP4の出力ラインが交差する8つの交差点にそれぞれ図6に示すセクタSLCが配置されている。

第6ステージSTG6では、演算器OP6に対してレジスタファイル2011からの入力バスL21～L42を介する複数の入力と、第1～第5ステージSTG1～STG5の出力を選択して入力されるように、入力バスL42と入力バスL21, L22, L31, L32, L41との10個の交差点、並びに、第1ステージSTG1の演算器OP1の出力ライン、第2ステージSTG2の演算器OP2の出力ライン、第3ステージSTG3の演算器OP3の出力ライン、第4ステージSTG4の演算器OP4の出力ライン、および第5ステージSTG5の演算器OP5の出力ラインが交差する10個の交差点にそれぞれ図6に示すセクタSLCが配置されている。

第7ステージSTG7では、演算器OP7に対してレジスタファイル2011からの入力バスL21～L42を介する複数の入力と、第1～第6ステージSTG1～STG6の出力を選択して入力されるように、入力バスL42と入力バス

L 2 1, L 2 2、L 3 1, L 3 2、L 4 1との10個の交差点、並びに、第1ステージS T G 1の演算器O P 1の出力ライン、第2ステージS T G 2の演算器O P 2の出力ライン、第3ステージS T G 3の演算器O P 3の出力ライン、第4ステージS T G 4の演算器O P 4の出力ライン、第5ステージS T G 5の演算器O P 5の出力ライン、および第6ステージS T G 6の演算器O P 6の出力ラインが交差する12個の交差点にそれぞれ図6に示すセクタS L Cが配置されている。

図7は、本発明に係る接続回路網C C Nの第2の構成例を示す図である。

この第2の構成例が図5の第1の構成例と異なる点は、いわゆる完全クロスバ型としたことにある。

図5および図7からわかるように、第1の構成例の方が、データフローグラフ構築の自由度を保ちつつ、回路量を削減できる（セクタを少なくできる）。

図8は、本発明に係る接続回路網C C Nの第3の構成例を示す図である。

図8の接続回路網C C Nは、4対、8本の入力バスL 1 1, L 1 2、L 2 1, L 2 2、L 3 1, L 3 2、およびL 4 1, L 4 2を有し、かつ8つの演算器O P 1～O P 8を有する構成例を示している。そして、並列に配置された演算器の入力から出力までをステージS T G 1～S T G 8（最終のステージ8の演算器O P 8の出力はレジスタファイルにデータが送られる）として次のような構成となっている。

図8において、入力バスの所定の交差点において示す黒丸および白丸がセクタを表している。図9および図10に白丸の各セクタの構成例を示す。

なお、図中の線は、束線（2本以上の信号線の集まり）を示している。

すなわち、第1ステージS T G 1では、演算器O P 1の入力に対して一对の入力バスL 1 1, L 1 2が接続され、演算器O P 1の出力が入力バスL 1 1に設けられた白丸のセクタに接続されている。

第2ステージS T G 2では、演算器O P 2の入力に対して一对の入力バスL 2

1, L 2 2が接続され、演算器OP 2の出力が入力バスL 1 2に設けられた白丸のセレクトに接続されている。

第3ステージSTG 3では、演算器OP 3の入力に対して一対の入力バスL 3 1, L 3 2が接続され、演算器OP 3の出力が入力バスL 2 1に設けられた白丸のセレクトに接続されている。そして、入力バスL 3 1, L 3 2と入力バスL 1 1, L 1 2との4つの交差点にそれぞれ図6に示すセレクトSLCが配置されている。

第4ステージSTG 4では、演算器OP 4の入力に対して一対の入力バスL 4 1, L 4 2が接続され、演算器OP 4の出力が入力バスL 2 2に設けられた白丸のセレクトに接続されている。そして、入力バスL 4 1, L 4 2と入力バスL 1 1, L 1 2, L 2 1との6つの交差点にそれぞれ図6に示すセレクトSLCが配置されている。

第5ステージSTG 5では、演算器OP 5の入力に対して2分岐させた入力バスL 4 2が接続され、演算器OP 5の出力が入力バスL 3 1に設けられた白丸のセレクトに接続されている。そして、2つの入力バスL 4 2と入力バスL 1 1, L 1 2, L 2 1, L 2 2との8つの交差点にそれぞれ図6に示すセレクトSLCが配置されている。

第6ステージSTG 6では、演算器OP 6の入力に対して2分岐させた入力バスL 4 2が接続され、演算器OP 6の出力が入力バスL 3 2に設けられた白丸のセレクトに接続されている。そして、2つの入力バスL 4 2と入力バスL 1 1, L 1 2, L 2 1, L 2 2, L 3 1, L 3 2, L 4 1との14個の交差点にそれぞれ図6に示すセレクトSLCが配置されている。

第7ステージSTG 7では、演算器OP 7の入力に対して2分岐させた入力バスL 4 2が接続され、演算器OP 7の出力が入力バスL 4 1に設けられた白丸のセレクトに接続されている。そして、2つの入力バスL 4 2と入力バスL 1 1, L 1 2, L 2 1, L 2 2, L 3 1, L 3 2, L 4 1との14個の交差点にそれぞれ

れ図6に示すセクタSLCが配置されている。

第8ステージSTG8では、演算器OP8の入力に対して2分岐させた入力バスL42が接続され、演算器OP7の出力が入力バスL42に設けられた白丸のセクタに接続されている。そして、2つの入力バスL42と入力バスL11, L12, L21, L22, L31, L32, L41との14個の交差点にそれぞれ図6に示すセクタSLCが配置されている。

図11は、本発明に係る接続回路網CCNの第4の構成例を示す図である。

本第4の構成例が図5の第1の構成例と異なる点は、各演算器OP1～OP7の出力にセクタを設けて、選択的にあらかじめ設定された少なくとも一つのテーブル参照部TBLに入力させ、テーブル参照部TBLの出力をセクタで選択して、入力ラインL11～L42に帰還させるようにしたことにある。

このような構成をとることにより、対数や指数の演算が可能となる。

演算実行の概略

ここで、本発明に係る演算装置201の演算実行の概略について、図12および図13に関連付けて説明する。

たとえばデータA, B, C, Dをレジスタファイル2011から読み、次式のYに相当する値をレジスタファイル2011に書き込むという演算を複数回行う。

$$Y[i] = (A[i] + B[i]) \times (C[i] + D[i]) \cdots (1)$$

図12は、式(1)に示す演算のデータフローグラフを示す。

演算の実行

演算1を実行する機能を有する演算器OP1と、データAに相当する値が出力されるレジスタファイル2011の出力を、枝0に相当する電氣的接続経路である接続0で接続する。

同様に、枝1～3に相当する接続1から3により、レジスタファイル2011のデータBに相当する出力を演算器OP1に、データC, Dに相当する出力を演

算器OP 2に接続する。

演算器OP 1の出力を枝4に相当する接続4で、また演算器OP 2の出力を枝5に相当する接続5で、それぞれ演算3を実行する機能を有する演算器OP 3の入力に接続する。

演算器OP 3の出力を、枝6に相当する接続6を経由してレジスタファイル2011に入力し、Yに相当する値を書き込む経路を確立する。

このようにして、レジスタファイル、演算器の電氣的接続を実現し、レジスタファイルから、A[i]，B[i]，C[i]，D[i]に相当するデータを順次読み出し、演算を実行することで、複数個のA～Dに対する演算が効率よく実現される。

このようにして実現される演算装置201では、演算器間の電氣的接続を変更することで、異なる演算に容易に対応できる。

図5の構成の場合、演算器OP 1～OP 3が用いられ、接続0および接続1は入力バスL 1 1，L 1 2に相当し、接続2および接続3は入力バスL 2 1，L 2 2に相当する。

図5中に示すセクタSLC 1で演算器OP 1の演算結果を演算器OP 3に入力させる接続4を形成し、セクタSLC 2で演算器OP 2の演算結果を演算器OP 3に入力させる接続5を形成する。

そして、演算器OP 3の演算結果をそのままレジスタファイル2011に出力するための接続6を形成する。

以上の演算は、図14に示すようなパイプライン処理で実行される。

なお、図14(A)はクロックを示し、図14(B)のRRはレジスタファイル2011からデータA～Dの読み出し処理を示し、図14(C)，(E)，(G)のICは接続網CCN経由でのデータ転送処理を示し、図14(D)のAdd 1/0は演算器OP 1、OP 2による演算処理を示し、図14(F)のmulは演算器OP 3による演算処理を示し、図14(H)のWBはレジスタファイル2

0 1 1 への演算結果の書き込み処理を示している。

本発明に係る演算装置 2 0 1 は、上述したようにデータパスを動的に再構築可能である。

これにより、演算装置 2 0 1 は、演算回路を使用して、演算をパイプライン状に実行している際に、演算器間の電氣的接続を変更することが可能である。

また、前記のように動的に演算器間の構成を変更することで、遅滞なく異なる演算が行える。

また、演算装置 2 0 1 は、個々の演算器に対して付加されている制御回路が、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える機能を有する。

そして、演算装置 2 0 1 では、接続網 C C N の個々の接続点に対し付与された制御回路が、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、個々の制御回路が自動的に接続点の制御を切り替える機能を有する。

次に、動的再構築の実現方法について説明する。

動的再構築の実現方法 1

まず、図 1 5 および図 1 6 に関連付けて動的再構築の第 1 の実現方法について説明する。

この場合、図 1 5 に示すように、各演算器 O P に対する制御回路 3 0 1 は、現在の制御情報（現制御情報）C I F M と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）N I F M の 2 つを保持する。

そして、演算データ O P D T は、それが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号 C T L と同期して送られてくる。

制御回路 3 0 1 は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算の完了と同時に、現制御情報 C I F M を次制御情報 N I F M で書き換える。

これにより、演算回路の制御を変更することが可能であり、異なる演算を実行

することが可能となる。

接続回路網CCNに関しても同様であり、図15に示すように、制御信号CTLにより最終データであることが識別された場合、制御回路301は、現在実行中のデータ転送の完了と同時に、現制御情報CIFMを次制御情報NIFMで書き換える。

これにより、接続回路網の制御を変更することが可能であり、異なる電氣的接続を実現することが可能となる。

次に、図17～図19に関連付けて動的再構築の第2の実現方法について説明する。

動的再構築の実現方法2

前述したような、演算器（演算回路）と接続回路網からなる演算装置を使用して、異なる演算を連続して実行する場合、図17に示すように、演算1と演算2が時間的に重複する区間（演算1と演算2の重複区間）が生じる。

この間、演算回路と接続回路網上には異なる演算に対するデータが同時に存在する。

この区間では、演算1の最終データが、演算回路上に存在する一方で、一部の回路は演算2に対応する制御が行われている。

そのため、演算1の最終データが、演算2を行っている演算器または、演算2に対応する制御となっている接続網制御回路に到達した場合、それらが演算の終了と認識して演算2に対する制御から演算3に対する制御に切り替わり、以後の残りの演算2に対する演算が正常に行われない可能性がある。

これに対処した動的再構築の実現例を以後述べる。

この場合、図18に示すように、各演算器OPに対する制御回路302は、現在の制御情報（現制御情報）CIFMと現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）CDS Cと、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）NIFMと、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）NDS Cを保持

する。

演算データOPDTは、それが、演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが演算1に対するものか、演算2に対するものかを識別可能な情報を示す制御信号CTLと同期して送られてくる。

制御回路302は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識別情報CDS Cで示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算の完了と同時に、現制御情報CIFM、現識別情報CDS Cをそれぞれ次制御情報NIFM、次識別情報NDS Cで書き換える。

これにより、継続して入力されてくるデータに対し、異なる演算に適切なタイミングで切り替えることが可能となる。

接続回路網CCNに関しても同様であり、図19に示すように、現在実行中のデータ転送の完了と同時に、現制御情報CIFM、現識別情報CDS Cをそれぞれ次制御情報NIFM、次識別情報NDS Cで書き換える。

これにより、継続して入力されてくるデータに対し、異なる電氣的接続に適切なタイミングで切り替えることが可能となる。

次に、本発明に係る演算装置201において、実際に拡散による画素色への寄与成分を形成する場合について図20および図21に関連付けて説明する。

図20は、演算装置201における演算部20121をデータバスBSと異なる信号ラインにより3つの演算部20122～20124を並列に接続した構成を有する演算器プール2012のマッピングを示す図である。

演算部20121A、20122Aが図5と異なる点は、前段の演算器の出力を次段の演算器の入力に直接入力されていることにある。この例では、演算部20121A、20122Bの演算器OP2～OP7は3入力1出力の構成を有している。

なお、図20では、図面の簡単化のため、演算部20123、20124は省略している。

図 2 1 は、拡散光成分の計算に対するデータフロー図である。

ここでは、次の計算を行う。

$$Y_l = (|L \cdot N|) \times |K_d| \times |C_d| \quad \dots (2)$$

ここで、 $|C_d|$ は拡散光の色を表すベクタ値、 $|K_d|$ は反射率を表すベクタ値、 $|L|$ は拡散光の入射方向を示すベクトル、 $|N|$ は描画する画素の法線ベクトルをそれぞれ表している。

①スカラ値×ベクタ値の例

上記式 (2) で $(|L \cdot N|)$ はベクタ $|L|$ と $|N|$ の内積であり、次式で求めるスカラ値となる。

$$(|L \cdot N|) = |L_x| \times |N_x| + |L_y| \times |N_y| + |L_z| \times |N_z| \quad \dots (3)$$

この値を $|K_d|$ 、 $|C_d|$ の各色成分毎の積の各々に対して乗じて求める。

$(|L \cdot N|)$ を D とおくと、色の 3 原色 RGB ($r g b$) について拡散色成分を演算部 2 0 1 2 2 ~ 2 0 1 2 4 で計算する。

$$Y_{lr} = D \times (|K_{dr}| \times |C_{dr}|)$$

$$Y_{lg} = D \times (|K_{dg}| \times |C_{dg}|)$$

$$Y_{lb} = D \times (|K_{db}| \times |C_{db}|)$$

上記の例では、各演算部 2 0 1 2 1 A ~ 1 2 1 2 4 A の第 1 ~ 第 3 のステージの 3 つの演算器 OP 1 ~ OP 3 を用いて演算を行っている。図 2 0 において、太線で示すラインがデータの入出力経路である。

具体的には、演算部 2 0 1 2 1 A において、 L および N の x 成分 L_x 、 N_x が演算器 OP 1 に入力されて乗算され、この乗算結果 $L_x \cdot N_x$ が演算器 OP 2 に入力される。演算器 OP 2 には、 L および N の y 成分 L_y 、 N_y が入力されて乗算され、この乗算結果 $L_y \cdot N_y$ に演算器 OP 1 の乗算結果 $L_x \cdot N_x$ が加算され、この加算結果 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y)$ が演算器 OP 3 に入力される。演算器 OP 3 には、 L および N の z 成分 L_z 、 N_z が入力されて乗算され、この乗

算結果 $L_z \cdot N_z$ に演算器 OP 1 の演算結果 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y)$ が加算され、この加算結果 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y + L_z \cdot N_z)$ が他の演算部 20122A, 20123A, 20124A に出力され、それぞれ各演算部 20122A, 20123A, 20124A の演算器 OP 3 に入力される。

演算部 20122A においては、拡散光の色の r 成分 C_{dr} と反射率の r 成分 K_{dr} が演算器 OP 1 に入力されて乗算され、この乗算結果 $C_{dr} \cdot K_{dr}$ が演算器 OP 3 に入力される。演算器 OP 3 には演算部 20121A の演算器 OP 3 の出力 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y + L_z \cdot N_z)$ が入力されており、演算器 OP 1 の出力 $C_{dr} \cdot K_{dr}$ とが乗算されて輝度 Y の r 成分 Y_r が生成され、レジスタファイル 2011 に出力される。

演算部 20123A においては、拡散光の色の g 成分 C_{dg} と反射率の g 成分 K_{dg} が演算器 OP 1 に入力されて乗算され、この乗算結果 $C_{dg} \cdot K_{dg}$ が演算器 OP 3 に入力される。演算器 OP 3 には演算部 20121A の演算器 OP 3 の出力 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y + L_z \cdot N_z)$ が入力されており、演算器 OP 1 の出力 $C_{dg} \cdot K_{dg}$ とが乗算されて輝度 Y の g 成分 Y_g が生成され、レジスタファイル 2011 に出力される。

演算部 20124A においては、拡散光の色の b 成分 C_{db} と反射率の b 成分 K_{db} が演算器 OP 1 に入力されて乗算され、この乗算結果 $C_{db} \cdot K_{db}$ が演算器 OP 3 に入力される。演算器 OP 3 には演算部 20121A の演算器 OP 3 の出力 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y + L_z \cdot N_z)$ が入力されており、演算器 OP 1 の出力 $C_{db} \cdot K_{db}$ とが乗算されて輝度 Y の b 成分 Y_b が生成され、レジスタファイル 2011 に出力される。

次に、一つの接続回路網において、演算回路の動的な再構築について、図 22 および図 23 に関連付けて説明する。

なお、ここでは、図 8 の接続回路網 CCN を例に説明する。

まず、プライマリの r, g, b 成分 P_r , P_g , P_b を生成する場合には、レ

レジスタファイル 2011 から、プライマリカラーの r 成分 PC_r とアンビエントの r 成分 AM_r が演算器 OP 1 に入力され、プライマリカラーの g 成分 PC_g とアンビエントの g 成分 AM_g が演算器 OP 2 に入力され、プライマリカラーの b 成分 PC_b とアンビエントの b 成分 AM_b が演算器 OP 3 に入力され、各演算器 OP 1, OP 2, OP 3 の演算結果がレジスタファイル 2011 に転送されるように各セレクタの制御が行われる。さらに、演算器 OP 1, OP 2, OP 3 においては、入力された 2 つのデータに対して加算を行うように制御される。

そして、演算器 OP 1 において、プライマリカラーの r 成分 PC_r とアンビエントの r 成分 AM_r が加算され、この加算結果 $PC_r + AM_r$ が P_r としてレジスタファイル 2011 に転送される。同様に、演算器 OP 2 において、プライマリカラーの g 成分 PC_g とアンビエントの g 成分 AM_g が加算され、この加算結果 $PC_g + AM_g$ が P_g としてレジスタファイル 2011 に転送される。演算器 OP 3 において、プライマリカラーの b 成分 PC_b とアンビエントの b 成分 AM_b が加算され、この加算結果 $PC_b + AM_b$ が P_b としてレジスタファイル 2011 に転送される。

次に、拡散光の入射方向を示すベクトル L と、描画する画素の法線ベクトル N との内積を求める場合には、 L および N の x 成分 L_x , N_x が演算器 OP 1 に入力され、演算器 OP 1 の出力が演算器 OP 4 に入力され、 L および N の y 成分 L_y , N_y が演算器 OP 2 に入力され、演算器 OP 2 の出力が演算器 OP 4 に入力され、 L および N の z 成分 L_z , N_z が演算器 OP 3 に入力され、演算器 OP 3 の出力が演算器 OP 5 に入力され、演算器 OP 4 の出力が演算器 OP 5 に入力され、演算器 OP 5 の出力がレジスタファイル 2011 に転送されるように、各セレクタが制御される。さらに、演算器 OP 1, OP 2, OP 3 においては、入力された 2 つのデータに対して乗算を行うように制御され、演算器 OP 4, OP 5 においては、入力された 2 つのデータに対して加算を行うように制御される。

そして、演算器 OP 1 において、 L および N の x 成分 L_x , N_x が乗算され、

この乗算結果 $L_x \cdot N_x$ が演算器OP 4に入力される。演算器OP 2においては、 L および N の y 成分 L_y , N_y が乗算され、この乗算結果 $L_y \cdot N_y$ が演算器OP 4に入力される。演算器OP 3においては、 L および N の z 成分 L_z , N_z が乗算され、この乗算結果 $L_z \cdot N_z$ が演算器OP 5に入力される。演算器OP 4においては、演算器OP 1の出力 $L_x \cdot N_x$ と演算器OP 2の出力 $L_y \cdot N_y$ が加算され、この演算結果 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y)$ が演算器OP 5に入力される。演算器OP 5においては、演算器OP 4の出力 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y)$ と演算器OP 3の出力 $L_z \cdot N_z$ が加算され、この加算結果 $(L_x \cdot N_x + L_y \cdot N_y + L_z \cdot N_z)$ 、すなわち所望の演算結果 $N \cdot L$ がレジスタファイル2011に転送される。

以上が本発明に係る演算装置201の構成および機能である。

以下に、DRAM147、DDAセットアップ回路141、トライアングルDDA回路142、テクスチャエンジン回路143、メモリI/F回路144、CRTコントロール回路145、およびRAMDAC回路146の機能について順を追って説明する。

DRAM147

DRAM147は、テクスチャバッファ147a、ディスプレイバッファ147b、 z バッファ147cおよびテクスチャCLUT(Color Look Up Table) バッファ147dとして機能する。

また、DRAM147は、同一機能を有する複数（4個あるいは8個等）のモジュールに分割されている。

本実施形態においては、DRAM147は、たとえば図24に示すように、4つのDRAMモジュール1471～1474に分割されている。DRAMモジュール1471～1474の各々は、たとえば512のページアドレス（行アドレス）を有する。

メモリI/F回路144には、各DRAMモジュール1471～1474に対

応したメモリコントローラ 1441～1444、並びにこれらメモリコントローラ 1441～1444 にデータを分配するディストリビュータ 1445 が設けられている。

そして、メモリ I/F 回路 144 は、各 DRAM モジュール 1471～1474 に対して、図 24 に示すように、ピクセルデータを、表示領域において隣接した部分は、異なる DRAM モジュールとなるように配置する。

これにより、三角形のような平面を描画する場合には面で同時に処理できることになるため、それぞれの DRAM モジュールの動作確率は非常に高くなっている。

また、DRAM 147 には、より多くのテクスチャデータを格納するために、インデックスカラーにおけるインデックスと、そのためのカラーlookup テーブル値が、テクスチャ CLUT バッファ 147d に格納されている。

インデックスおよびカラーlookup テーブル値は、テクスチャ処理に使われる。すなわち、通常は R、G、B それぞれ 8 ビットの合計 24 ビットでテクスチャ要素を表現するが、それではデータ量が膨らむため、あらかじめ選んでおいたたとえば 256 色等の中から一つの色を選んで、そのデータをテクスチャ処理に使う。このことで 256 色であればそれぞれのテクスチャ要素は 8 ビットで表現できることになる。インデックスから実際のカラーへの変換テーブルは必要になるが、テクスチャの解像度が高くなるほど、よりコンパクトなテクスチャデータとすることが可能となる。

これにより、テクスチャデータの圧縮が可能となり、内蔵 DRAM 147 の効率良い利用が可能となる。

さらに DRAM 147 には、描画と同時並行的に隠れ面処理を行うため、描画しようとしている物体の奥行き情報が格納されている。

なお、表示データと奥行きデータおよびテクスチャデータの格納方法としては、メモリブロックの先頭から連続して表示データが格納され、次に奥行きデータ

が格納され、残りの空いた領域に、テクスチャの種類毎に連続したアドレス空間でテクスチャデータが格納される。これにより、テクスチャデータを効率よく格納できることになる。

以下に、本実施形態に係る同一半導体チップ内に混載されるレンダリング回路 14 のロジック回路と DRAM 147 および SRAM 148 等からなる 2 次メモリとの好適な構成、配置および配線方法について、図 25 および図 26 に関連付けて説明する。

後述するように描画処理においては、最終的にはピクセルの一つ一つのアクセスにまで集約されてくることになる。したがって、ピクセル一つ一つの処理が同時並行処理されることにより、描画性能は並行処理の数だけ増加できることが理想である。

そのために、本 3 次元コンピュータグラフィックスシステムにおけるメモリシステムを構成するメモリ I/F 回路 144 においても、同時並行処理が行える構成がとられている。

グラフィックス描画処理においては、ピクセルを書き込む処理等を行う処理回路は、DRAM と頻繁にデータのやりとりを行う必要がある。

そのため、本実施形態では、図 25 に示すように、ピクセル処理を制御する機能ブロックであるピクセル処理モジュール 1446, 1447, 1448, 1449 をメモリコントローラから物理的に分離し、かつ、これらピクセル処理モジュール 1446, 1447, 1448, 1449 を対応する DRAM モジュール 1471, 1472, 1473, 1474 の近くに配置（近接配置）している。

ピクセル処理モジュール 1446, 1447, 1448, 1449 は、(R, G, B) カラーのリード (Read) / モディファイ (Modify) / ライト (Write) 処理および、隠面処理のための以前に描画している深さ（奥行き）データと、今から描画しようとしているデータの深さを比較して、その結果により書き戻したりする作業に関する処理を全て行う。

これら作業をすべてピクセル処理モジュール1446, 1447, 1448, 1449で行うことで、DRAMモジュール1471, 1472, 1473, 1474との配線長が短いモジュール内で、DRAMとのやりとりを完結することが可能となる。

そのため、DRAMとの配線数、すなわち、転送のビット数を多くとっても、面積に対する配線が占める割合を、少なく抑えることができることから、動作速度向上および、配線面積の縮小化が可能となっている。

ディストリビュータ等を含むDRAM間制御モジュール1450に関しては、描画処理としての、DDAセットアップ回路141のDDAセットアップ演算、トライアングルDDA回路142のトライアングルDDA演算、テクスチャエンジン回路143のテクスチャ貼り付け、並びに、CRTコントロール回路145による表示処理等に比較して、それぞれのDRAMモジュール（DRAM+ピクセル処理）との関連も強く、DRAMモジュール1471, 1472, 1473, 1474との間の信号線が最も多くなるところである。

そのため、DRAM間制御モジュール1450は、それぞれのDRAMモジュール1471, 1472, 1473, 1474の中心付近に配置して、最長配線長ができるだけ短くなるように考慮している。

また、ピクセル処理モジュール1446, 1447, 1448, 1449とDRAM間制御モジュール1450との接続のための信号入出力端子については、図3に示すように、それぞれのピクセル処理モジュール1446, 1447, 1448, 1449における入出力端子を同じにするのではなく、個々のピクセル処理モジュールと、DRAM間制御モジュール1450間が最適（最短）に配線されるように、個々のピクセル処理モジュールにおける信号の入出力端子位置を調整してある。

具体的には、ピクセル処理モジュール1446は、図25においてモジュール下縁部の右端側に入出力端子T1446aが形成されている。そして、この入出

力端子T 1 4 4 6 aがD R A M間制御モジュール1 4 5 0の上縁部の左端側に形成された入出力端子T 1 4 5 0 aと対向するように配置されて、両端子T 1 4 4 6 aおよびT 1 4 5 0 aが最短距離をもって接続されている。

そして、ピクセル処理モジュール1 4 4 6には、図2 5において上縁部の中央部にD R A Mモジュール1 4 7 1との接続用入出力端子T 1 4 4 6 bが形成されている。

ピクセル処理モジュール1 4 4 7は、図2 5においてモジュール下縁部の左端側に入出力端子T 1 4 4 7 aが形成されている。そして、この入出力端子T 1 4 4 7 aがD R A M間制御モジュール1 4 5 0の上縁部の右端側に形成された入出力端子T 1 4 5 0 bと対向するように配置されて、両端子T 1 4 4 7 aおよびT 1 4 5 0 bが最短距離をもって接続されている。

そして、ピクセル処理モジュール1 4 4 7には、図2 5において上縁部の中央部にD R A Mモジュール1 4 7 2との接続用入出力端子T 1 4 4 7 bが形成されている。

ピクセル処理モジュール1 4 4 8は、図2 5においてモジュール上縁部の右端側に入出力端子T 1 4 4 8 aが形成されている。そして、この入出力端子T 1 4 4 8 aがD R A M間制御モジュール1 4 5 0の下縁部の左端側に形成された入出力端子T 1 4 5 0 cと対向するように配置されて、両端子T 1 4 4 8 aおよびT 1 4 5 0 cが最短距離をもって接続されている。

そして、ピクセル処理モジュール1 4 4 8には、図2 5において下縁部の中央部にD R A Mモジュール1 4 7 3との接続用入出力端子T 1 4 4 8 bが形成されている。

ピクセル処理モジュール1 4 4 9は、図2 5においてモジュール上縁部の左端側に入出力端子T 1 4 4 9 aが形成されている。そして、この入出力端子T 1 4 4 9 aがD R A M間制御モジュール1 4 5 0の下縁部の右端側に形成された入出力端子T 1 4 5 0 dと対向するように配置されて、両端子T 1 4 4 9 aおよびT

1450dが最短距離をもって接続されている。

そして、ピクセル処理モジュール1449には、図25において下縁部の中央部にDRAMモジュール1474との接続用入出力端子T1449bが形成されている。

なお、ピクセル処理モジュール1446, 1447, 1448, 1449は、各DRAMモジュール1471, 1472, 1473, 1474からDRAM間制御モジュール1450に至る経路を、上記のようにして最適な長さにしても、処理速度要求が満足できない処理に関しては、たとえばレジスタで分断した少なくとも1段のパイプライン処理をとり得、所望の処理速度を達成できるように構成されている。

また、本実施形態に係るDRAMモジュール1471～1474は、たとえば図26に示すように構成されている。なお、ここでは、DRAMモジュール1471を例に説明するが、他のDRAMモジュール1472～1474も同様の構成を有することから、その説明は省略する。

DRAMモジュール1471は、図26に示すように、メモリセルがマトリクス状に配置され、ロウアドレスRA、コラムアドレスCAに基づいて選択される図示しないワード線およびビット線を通してアクセスされるDRAMコア1480、ロウデコーダ1481、センスアンプ1482、コラムR/Wデコーダ1483、およびSRAM等からなるいわゆるキャッシュメモリと同様の機能を備えた2次メモリ1484を有している。

本実施形態のように、DRAMモジュール毎に、グラフィックス描画におけるピクセル処理を制御する機能ブロックとしてのピクセル処理モジュール1446～1449と、DRAMモジュールの2次メモリ1484とがDRAMモジュールに近接配置されている。

そして、この場合、DRAMのいわゆる長辺方向が、DRAMコア1480のコラム方向になるように配置されている。

図 26 の構成においてランダムな読み出し（リード）に関して見てみると、ピクセル処理モジュール 1446 から制御信号と必要なアドレス信号 S1446 が、アドレス制御バスから DRAM モジュール 1471 に供給され、それをもとに、ロウアドレス RA とカラムアドレス CA が生成され、所望のロウに相当する DRAM のデータが センスアンプ 1482 を通して読み出される。

センスアンプ 1482 を通ったデータは所望のカラムアドレス CA に従って、カラムデコーダにて必要なカラムが集約され、ランダムアクセスポートから所望のロウ／カラムに対応した、DRAM のデータ D1471 がバスを介してピクセル処理モジュール 1446 に転送される。

2 次メモリにデータを書き込む場合は、ピクセル処理モジュール 1446 から制御信号と必要なアドレス信号 S1446 が、アドレス制御バスから DRAM モジュール 1471 に供給され、それをもとにロウアドレスのみが生成され、1 ロウ分のデータが一気に DRAM から SRAM 148 等からなる 2 次メモリ 1484 に書き込まれる。

この場合、DRAM のいわゆる長辺方向が、DRAM コア 1480 のカラム方向になるように配置されていることから、ロウ方向に配置する場合に比較して、ロウアドレス指定のみで、そのロウアドレスに対応している 1 ロウ分のデータを、一度に 2 次メモリ 1484 にロードできるビット数が格段に増加する。

また、テクスチャ処理モジュールとしてのテクスチャエンジン回路 143 への 2 次メモリ（SRAM）1484 からのデータ D1484 の読み込みは、テクスチャエンジン回路 143 から、制御信号と必要なアドレス信号が、アドレス制御バスから DRAM に供給され、それに対応したデータ D1484 がデータバスを介してテクスチャエンジン回路 143 へ転送される。

また、本実施形態においては、図 26 に示すように、ピクセル処理モジュールと DRAM モジュールの 2 次メモリとが、それぞれ互いに DRAM モジュールの長辺側の同一側に近接配置されている。

これにより、ピクセル処理モジュールとDRAMモジュールの2次メモリへのデータは、同一のセンスアンプを使うことができるため、DRAMコア1480の面積増加を最小限に抑えて2ポート化することが可能となっている。

メモリ I/F 回路 144

メモリ I/F 回路 144 は、テクスチャエンジン回路 143 から入力したピクセルデータ S 143 に対応する z データと、z バッファ 147 c に記憶されている z データとの比較を行い、入力したピクセルデータ S 143 によって描画される画像が、前回、ディスプレイバッファ 147 b に書き込まれた画像より、手前（視点側）に位置するか否かを判断し、手前に位置する場合には、画像データ S 143 に対応する z データで z バッファ 147 c に記憶された z データを更新する。

また、メモリ I/F 回路 144 は、(R, G, B) データをディスプレイバッファ 147 b に書き込む（打ち込む）。

なお、メモリ I/F 回路 144 による DRAM 147 に対してのアクセスは、16 ピクセルについて同時に行われる。

DDA セットアップ回路 141

DDA セットアップ回路 141 は、後段のトライアングル DDA 回路 142 において物理座標系上の三角形の各頂点の値を線形補間して、三角形の内部の各ピクセル（画素）の色と深さ情報を求めるに先立ち、ポリゴンレンダリングデータ S 11 が示す (z, R, G, B, s, t, q, α , F) データについて、三角形の辺と水平方向の差分などを求めるセットアップ演算を行う。

このセットアップ演算は、具体的には、開始点の値と終点の値、開始点と終点との距離を用いて、単位長さ移動した場合における、求めようとしている値の変分を算出する。

DDA セットアップ回路 141 は、算出した変分データ S 141 をトライアングル DDA 回路 142 に出力する。

DDAセットアップ回路141の機能について図27に関連付けてさらに説明する。

上述したように、DDAセットアップ回路141の主な処理は、前段のジオメトリ処理を経て物理座標にまで落ちてきた各頂点における各種情報（色、テクスチャ座標）の与えられた三頂点により構成される三角形内部で変分を求めて、後段の線形補間処理の基礎データを算出することである。

なお、三角形の各頂点データは、たとえばx、y座標が16ビット、z座標が24ビット、RGBカラー値が各12ビット（=8+4）、s、t、qテクスチャ座標は各32ビット浮動小数値（IEEEフォーマット）で構成される。

三角形の描画は水平ラインの描画に集約されるが、そのために水平ラインの描画開始点における最初の値を求める必要がある。

この水平ラインの描画においては、一つの三角形の中でその描画方向は一定にする。たとえば左から右へ描画する場合は、左側の辺におけるY方向変位に対するXおよび上記各種の変分を算出しておいて、それを用いて頂点から次の水平ラインに移った場合の最も左の点のx座標と、上記各種情報の値を求める（辺上の点はY、X両方向に変化するのでY方向の傾きのみでは計算できない。）。

右側の辺に関しては終点の位置がわかればよいので、Y方向変位に対するxの変分のみを調べておけばよい。

水平ラインの描画に関しては、水平方向の傾きは同一三角形内では均一なので、上記各種情報の傾きを算出しておく。

与えられた三角形をY方向にソートして最上位の点をAとする。次に残りの2頂点のX方向の位置を比較して右側の点をBとする。こうすることで、処理の場合分け等が2通り程度にできる。

トライアングルDDA回路142

トライアングルDDA回路142は、DDAセットアップ回路141から入力した変分データS141を用いて、三角形内部の各ピクセルにおける線形補間さ

れた (z , R , G , B , s , t , q , α , F) データを算出する。

トライアングルDDA回路11は、各ピクセルの (x , y) データと、当該 (x , y) 座標における (z , R , G , B , s , t , q , α , F) データとを、DDAデータ (補間データ) S142としてテクスチャエンジン回路143に出力する。

たとえば、トライアングルDDA回路142は、並行して処理を行う矩形内に位置する8 ($= 2 \times 4$) ピクセル (画素) 分のDDAデータS142をテクスチャエンジン回路143に出力する。

トライアングルDDA回路142の機能について図28に関連付けてさらに説明する。

上述したように、DDAセットアップ回路141により、三角形の各辺と水平方向における先出の各種情報の傾き情報が準備され、この情報を受けたトライアングルDDA回路142の基本的処理は、三角形の辺上の各種情報の補間処理による水平ラインの初期値の算出と、水平ライン上での各種情報の補間処理である。

ここで最も注意しなければならないことは、補間結果の算出は、ピクセル中心における値を算出する必要があるということである。

その理由は、算出する値がピクセル中心からはずれたところを求めているのは、静止画の場合はさほど気にならないが、動画にした場合には、画像の揺らぎが目立つようになるからである。

最初の水平ライン (当然ピクセル中心を結んだライン) の一番左側における各種情報は、辺上の傾きに頂点からその最初の水平ラインまでの距離をかけてやることで求めることができる。

次のラインにおける開始位置での各種情報は、辺上の傾きを足してゆくことで算出できる。

水平ラインにおける最初のピクセルでの値は、ラインの開始位置における値に

、最初のピクセルまでの距離と水平方向の傾きをかけた値を足すことで算出できる。水平ラインにおける次のピクセルにおける値は、最初のピクセルの値に対してつぎつぎに水平方向の傾きを足し込んでゆけば算出できる。

次に、頂点のソートについて図 29 に関連付けて説明する。

頂点をあらかじめソートしておくことで、以降の処理の場合分けを最大限に減らし、かつ、補間処理においてもできるだけ一つの三角形の内部においては、矛盾が生じにくくすることができる。

ソートのやり方としては、まずすべての与えられた頂点を Y 方向にソートして、最上位の点と最下位の点を決めそれぞれ A 点、C 点とする。残りの点は B 点とする。

このようにすることで、Y 方向に最も長く伸びた辺が辺 AC となり、最初に辺 AC と辺 AB を用いてその二つの辺で挟まれた領域の補間処理を行い、次に辺 AC はそのまま、辺 AB に変えて辺 BC と辺 AC で挟まれた領域の補間を行うという処理になる。また、Y 方向のピクセル座標格子上への補正に関しても、辺 AC と辺 BC について行っておけばよいこともわかる。

このようにして、ソート後の処理に場合分けが不必要になることで、データを単純に流すだけの処理で可能となりバグも発生しにくくなるし、構造もシンプルになる。

また、一つの三角形の中で補間処理の方向が辺 BC 上を開始点として一定にできるため、水平方向の補間 (Span) の方向が一定となり、演算誤差があったとしても辺 BC から他の辺に向かって誤差が蓄積されるかたちとなり、その蓄積の方向が一定となるため、隣接する辺同士での誤差は目立たなくなる。

次に、水平方向の傾き算出について図 30 に関連付けて説明する。

三角形内における各種変数 (x , z , R , G , B , s , t , q) の (x , y) に対する傾き (変数分) は、線形補間であることから一定となる。

したがって、水平方向の傾き、すなわち、各水平ライン (Span) 上での傾きはど

のSpanにおいても、一定となるので、各Spanの処理に先立ってその傾きを求めておくことになる。

三角形の与えられた頂点をY方向にソートした結果、辺ACが最も長く伸びた辺と再定義されているので、頂点Bを水平方向に伸ばしたラインと辺ACの交点が必要存在するのでその点をDとする。

後は単純に点Bと点Dの間の変分を求めるようなことを行えば、水平方向すなわちx方向の傾きを求めることができる。

具体的には、D点でのxおよびz座標は次式のようにになる。

$$x_d = \{ (y_d - y_a) / (y_c - y_a) \} \cdot (x_c - x_a)$$

$$z_d = \{ (y_d - y_a) / (y_c - y_a) \} \cdot (z_c - z_a)$$

これに基づいて、変数zのx方向の傾きを求めると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta z / \Delta x &= (z_d - z_b) / (x_d - x_b) \\ &= [\{ (y_d - y_a) / (y_c - y_a) \} \cdot (z_c - z_a) - z_b] \\ &\quad / [\{ (y_d - y_a) / (y_c - y_a) \} \cdot (x_c - x_a) - x_b] \\ &= \{ z_b (y_c - y_a) - (z_c - z_a) (y_c - y_a) \} \\ &\quad / \{ x_b (y_c - y_a) - (z_c - z_a) (y_c - y_a) \} \end{aligned}$$

次に、頂点データの補間手順の一例について、図31A、31Bおよび図32に関連付けて説明する。

頂点のソート、水平方向の傾き算出、各辺上での傾きの算出処理を経て、それらの結果を使って補間処理を行う。

B点の位置によって、Spanでの処理の向きは2通りに別れる。これは、一つの三角形の内部での補間における各Span同士での誤差の蓄積方向を、一定にすることで、できるだけ不具合が発生しないようにするために、Y方向に最も長く伸びた辺を常に始点として、処理するようにしようとしているからである。

B点がA点と同じ高さにあった場合には、前半の処理はスキップされることになる。よって、場合分けというよりは、スキップが可能な機構を設けておくだけ

で処理としてはすっきりしたものとできる。

複数のSpanを同時処理することで、処理能力をあげようとした場合には、Y方向における傾きを求めたくなるが、頂点のソートからやり直す必要があることになる。しかしながら、補間処理の前処理だけでことが済むために、全体としての処理系は簡単にできる。

具体的には、B点がA点と同じ高さでない場合には、AC、ABのY方向補正（画素（ピクセル）格子上の値算出）を行い（ST1、ST2）、AC辺上の補間およびAB辺上の補間を行う（ST3）。

そして、AC水平方向の補正およびAC辺からAB辺方向の水平ライン(Span)上を補間する（ST4）。

以上のステップST3、ST4の処理をAB辺の端点まで行う（ST5）。

AB辺の端点までステップST2～ST4の処理が終了した場合、あるいはステップST1においてB点がA点と同じ高さであると判別した場合には、BCのY方向補正（画素格子上の値算出）を行い（ST6）、AC辺上の補間およびBC辺上の補間を行う（ST7）。

そして、AC水平方向の補正およびAC辺からBC辺方向の水平ライン(Span)上を補間する（ST8）。

以上のステップST7、ST8の処理をBC辺の端点まで行う（ST9）。

テクスチャエンジン回路143

テクスチャエンジン回路143は、「 s/q 」および「 t/q 」の算出処理、テクスチャ座標データ（ u 、 v ）の算出処理、テクスチャバッファ147aからの（ R 、 G 、 B ）データの読み出し処理等を順にパイプライン方式で行う。

なお、テクスチャエンジン回路143は、たとえば所定の矩形内に位置する8ピクセルについての処理を同時に並行して行う。

テクスチャエンジン回路143は、DDAデータS142が示す（ s 、 t 、 q ）データについて、 s データを q データで除算する演算と、 t データを q データ

で除算する演算とを行う。

テクスチャエンジン回路143には、たとえば図示しない除算回路が8個設けられており、8ピクセルについての除算「 s/q 」および「 t/q 」が同時に行われる。

また、テクスチャエンジン回路143は、除算結果である「 s/q 」および「 t/q 」に、それぞれテクスチャサイズUSIZEおよびVSIZEを乗じて、テクスチャ座標データ（ u ， v ）を生成する。

また、テクスチャエンジン回路143は、メモリI/F回路144を介して、SRAM148あるいはDRAM147に、生成したテクスチャ座標データ（ u ， v ）を含む読み出し要求を出力し、メモリI/F回路144を介して、SRAM148あるいはテクスチャバッファ147aに記憶されているテクスチャデータを読み出すことで、（ s ， t ）データに対応したテクスチャアドレスに記憶された（ R ， G ， B ）データS148を得る。

ここで、SRAM148には、テクスチャバッファ147aに格納されているテクスチャデータが記憶される。

テクスチャエンジン回路143は、読み出した（ R ， G ， B ）データS148の（ R ， G ， B ）データと、前段のトライアングルDDA回路142からのDDAデータS142に含まれる（ R ， G ， B ）データとを、それぞれかけあわせるなどして、ピクセルデータS143を生成する。

テクスチャエンジン回路143は、このピクセルデータS143をメモリI/F回路144に出力する。

なお、テクスチャバッファ147aには、MIPMAP（複数解像度テクスチャ）などの複数の縮小率に対応したテクスチャデータが記憶されている。ここで、何れの縮小率のテクスチャデータを用いるかは、所定のアルゴリズムを用いて、前記三角形単位で決定される。

テクスチャエンジン回路143は、フルカラー方式の場合には、テクスチャバ

ッファ 1 4 7 a から読み出した (R, G, B) データを直接用いる。

一方、テクスチャエンジン回路 1 4 3 は、インデックスカラー方式の場合には、あらかじめ作成したカラーlookupアップテーブル (CLUT) をテクスチャ CLUT バッファ 1 4 7 d から読み出して、内蔵する SRAM に転送および記憶し、このカラーlookupアップテーブルを用いて、テクスチャバッファ 1 4 7 a から読み出したカラーインデックスに対応する (R, G, B) データを得る。

CRT コントロール回路 1 4 5

CRT コントロール回路 1 4 5 は、与えられた水平および垂直同期信号に同期して、図示しない CRT に表示するアドレスを発生し、ディスプレイバッファ 1 4 7 b から表示データを読み出す要求をメモリ I/F 回路 1 4 4 に出力する。この要求に応じて、メモリ I/F 回路 1 4 4 は、ディスプレイバッファ 1 4 7 b から一定の固まりで表示データを読み出す。CRT コントローラ回路 1 4 5 は、ディスプレイバッファ 1 4 7 b から読み出した表示データを記憶する FIFO (First In First Out) 回路を内蔵し、一定の時間間隔で、RAMDAC 回路 1 4 6 に、RGB のインデックス値を出力する。

RAMDAC 回路 1 4 6

RAMDAC 回路 1 4 6 は、各インデックス値に対応する R, G, B データを記憶しており、CRT コントローラ回路 1 4 5 から入力した RGB のインデックス値に対応するデジタル形式の R, G, B データを、図示しない D/A コンバータ (Digital/Analog Converter) に転送し、アナログ形式の R, G, B データを生成する。RAMDAC 回路 1 4 6 は、この生成された R, G, B データを図示しない CRT に出力する。

次に、図 2 の 3 次元コンピュータグラフィックスシステムの全体の動作を説明する。

3 次元コンピュータグラフィックスシステム 1 0 においては、グラフィックス描画等のデータは、メインプロセッサ 1 1 のメインメモリ 1 2、あるいは外部か

らのグラフィックスデータを受けるI/Oインタフェース回路13からメインバス15を介してレンダリング回路14に与えられる。

なお、必要に応じて、グラフィックス描画等のデータは、メインプロセッサ11等において、座標変換、クリップ処理、ライティング処理等のジオメトリ処理が行われる。

ジオメトリ処理が終わったグラフィックスデータは、三角形の各3頂点の頂点座標 x 、 y 、 z 、輝度値 R 、 G 、 B 、描画しようとしているピクセルと対応するテクスチャ座標 s 、 t 、 q とからなるポリゴンレンダリングデータS11となる。

このポリゴンレンダリングデータS11は、レンダリング回路14のDDAセットアップ回路141に入力される。

DDAセットアップ回路141においては、ポリゴンレンダリングデータS11に基づいて、三角形の辺と水平方向の差分などを示す変分データS141が生成される。具体的には、開始点の値と終点の値、並びに、その間の距離を用いて、単位長さ移動した場合における、求めようとしている値の変化分である変分が算出され、変分データS141としてトライアングルDDA回路142に出力される。

トライアングルDDA回路142においては、変分データS141を用いて、三角形内部の各ピクセルにおける線形補間された(z 、 R 、 G 、 B 、 s 、 t 、 q 、 α 、 F)データが算出される。

そして、この算出された(z 、 R 、 G 、 B 、 s 、 t 、 q 、 α 、 F)データと、三角形の各頂点の(x 、 y)データとが、DDAデータS142として、トライアングルDDA回路142からテクスチャエンジン回路143に出力される。

テクスチャエンジン回路143においては、DDAデータS142が示す(s 、 t 、 q)データについて、 s データを q データで除算する演算と、 t データを q データで除算する演算とが行われる。そして、除算結果「 s/q 」および「 t

／q」に、それぞれテクスチャサイズUSIZEおよびVSIZEが乗算され、テクスチャ座標データ（u，v）が生成される。

次に、テクスチャエンジン回路143からメモリI／F回路144を介して、テクスチャエンジン回路143からSRAM148に、生成されたテクスチャ座標データ（u，v）を含む読み出し要求が出力され、メモリI／F回路144を介して、SRAM148に記憶された（R，G，B）データS148が読み出される。

次に、テクスチャエンジン回路143において、読み出した（R，G，B）データS148の（R，G，B）データと、前段のトライアングルDDA回路142からのDDAデータS142に含まれる（R，G，B）データとが、かけあわされ、ピクセルデータS143として生成される。

このピクセルデータS143は、テクスチャエンジン回路143からメモリI／F回路144に出力される。

フルカラーの場合には、テクスチャバッファ147aからのデータ（R，G，B）を直接用いればよいが、インデックスカラーの場合には、あらかじめ作成しておいたカラーインデックステーブル（Color Index Table）のデータが、テクスチャCLUT（Color Look Up Table）バッファ147dより、SRAM等で構成される一時保管バッファへ転送され、この一時保管バッファのCLUTを用いてカラーインデックスから実際のR，G，Bカラーが得られる。

なお、CLUTがSRAMで構成された場合は、カラーインデックスをSRAMのアドレスに入力すると、その出力には実際のR，G，Bカラーが出てくるといった使い方となる。

そして、メモリI／F回路144において、テクスチャエンジン回路143から入力したピクセルデータS143に対応するzデータと、zバッファ147cに記憶されているzデータとの比較が行われ、入力したピクセルデータS143によって描画される画像が、前回、ディスプレイバッファ147bに書き込まれ

た画像より、手前（視点側）に位置するか否かが判断される。

判断の結果、手前に位置する場合には、画像データ S 1 4 3 に対応する z データで z バッファ 1 4 7 c に記憶された z データが更新される。

次に、メモリ I/F 回路 1 4 4 において、(R, G, B) データがディスプレイバッファ 1 4 7 b に書き込まれる。

メモリ I/F 回路 1 4 4 においては、今から描画しようとしているピクセルにおけるテクスチャアドレスに対応したテクスチャを格納しているメモリブロックがそのテクスチャアドレスにより算出され、そのメモリブロックにのみ読み出し要求が出され、テクスチャデータが読み出される。

この場合、該当するテクスチャデータを保持していないメモリブロックにおいては、テクスチャ読み出しのためのアクセスが行われなため、描画により多くのアクセス時間を提供することが可能となっている。

描画においても同様に、今から描画しようとしているピクセルアドレスに対応するピクセルデータを格納しているメモリブロックに対して、該当アドレスからピクセルデータがモディファイ書き込み (Modify Write) を行うために読み出され、モディファイ後、同じアドレスへ書き戻される。

隠れ面処理を行う場合には、やはり同じように今から描画しようとしているピクセルアドレスに対応する奥行きデータを格納しているメモリブロックに対して、該当アドレスから奥行きデータがモディファイ書き込み (Modify Write) を行うために読み出され、必要ならばモディファイ後、同じアドレスへ書き戻される。

このようなメモリ I/F 回路 1 4 4 に基づく DRAM 1 4 7 とのデータのやり取りにおいては、それまでの処理が複数並行処理される。これにより、描画性能を向上させることができる。

特に、トライアングル DDA 回路 1 4 2 とテクスチャエンジン 1 4 3 の部分を並列実行形式で、同じ回路に設ける（空間並列）か、または、パイプラインを細

かく挿入する（時間並列）ことで、部分的に動作周波数を増加させるという手段により、複数ピクセルの同時算出が行われる。

また、ピクセルデータは、メモリ I/F 回路 144 の制御のもと、表示領域において隣接した部分は、異なる DRAM モジュールとなるように配置される。

これにより、三角形のような平面を描画する場合には面で同時に処理される。このため、それぞれの DRAM モジュールの動作確率は非常に高い。

そして、図示しない CRT に画像を表示する場合には、CRT コントロール回路 145 において、与えられた水平垂直同期周波数に同期して、表示アドレスが発生され、メモリ I/F 回路 144 へ表示データ転送の要求が出される。

メモリ I/F 回路 144 では、その要求に従い、一定のまとまった固まりで、表示データが CRT コントロール回路 145 に転送される。

CRT コントロール回路 145 では、図示しないディスプレイ用 FIFO (First In First Out) 等にその表示データが貯えられ、一定の間隔で RAMDAC 146 へ RGB のインデックス値が転送される。

RAMDAC 146 においては、RAM 内部に RGB のインデックスに対する RGB 値が記憶されていて、インデックス値に対する RGB 値が図示しない D/A コンバータへ転送される。

そして、D/A コンバータでアナログ信号に変換された RGB 信号が CRT へ転送される。

以上説明したように、本第 1 の実施形態によれば、レジスタファイル (RF) 2011 と、演算器プール 2012 を有する演算装置 201 であって、演算器プール 2012 は、データバス BS によりレジスタファイル 2011 とのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部 20121 ~ 20124 を有し、各演算部 20121 ~ 20124 は、複数の演算器（加算器、乗算器、乗加算器等）OP1 ~ OP8 と、演算器 OP1 ~ OP8 との間に電気的な接続を変更可能、レジスタファイル 2011 と演算器 OP との間に存在する接続回路網 CCN を含むことか

ら、各種の演算に対応でき、かつ開発時点で想定されていなかった演算方式にも容易に対応できる、かつ、3次元グラフィックにおいて、実時間での描画に十分な描画能力を発揮することができる。

また、複数に分割されたDRAMモジュール1471～1474を、グラフィックス描画処理等を行うロジック回路部分の周辺部に配置したことから、同時にアクセスしなければならない場合に比較して、一回のアクセスでのビット線に占める有効データの割合が増加し、また、それぞれのDRAMモジュール1471～1474からロジック回路部分までの距離が均一になり、固めて一方向に並べる場合に比較して、最も長くなるバス配線の長さを短くできる。そのため、全体での動作速度を向上できる利点がある。

また、DRAMモジュール1471～1474毎に、グラフィックス描画におけるピクセル処理を制御する機能ブロックとしてのピクセル処理モジュール1446～1449を近接配置したので、グラフィックス描画において非常に回数多く行われる、リード（Read）／モディファイ（Modify）／ライト（Write）処理が非常に短い配線領域で可能となる。このため、動作速度を飛躍的に向上させることができる。

また、ピクセル処理モジュールとDRAMモジュールの2次メモリとを、それぞれ互いにDRAMモジュールの長辺側の同一側に近接配置したので、ピクセル処理モジュールから2次メモリへのデータ転送を非常に幅の広いバスで行っても、いわゆるクロストーク（Cross Talk）の影響も少なく、当然配線長も短いため、動作速度が向上する。また、配線が占める面積も小さくなる。

また、ピクセル処理モジュールと2次メモリへのデータは、同一のセンスアンプを使うことができる。このため、DRAMコアの面積増加を最小限に抑えてポート化することが可能となる。

また、ピクセル処理モジュール1446～1449は、その内部に少なくとも1段以上の、パイプライン制御が行われることから、その他の描画処理を行う中

央に配置されるブロックまでの距離が、平均的に長くなったとしても、データを処理するスループットに影響を与えなくできるため、処理速度が向上する。

さらに、半導体チップ内部に内蔵されたDRAM 147に、表示データと少なくとも一つの図形要素が必要とするテクスチャデータを記憶させた構成を有することから、表示領域以外の部分にテクスチャデータを格納できることになり、内蔵DRAMの有効利用が可能となり、高速処理動作、並びに低消費電力化を並立させるようにした画像処理装置が実現可能となる。

そして、単一メモリシステムを実現でき、すべてが内蔵された中だけで処理ができる。その結果、アーキテクチャとしても大きなパラダイムシフトとなる。

また、メモリの有効利用ができることで、内部に持っているDRAMのみでの処理が可能となり、内部にあるがゆえのメモリと描画システムの間大きなバンド幅が、十分に活用可能となる。また、DRAMにおいても特殊な処理を組み込むことが可能となる。

さらに、表示アドレス空間において、隣接するアドレスにおける表示要素が、それぞれ異なるDRAMのブロックになるように配置するので、さらにビット線の有効利用が可能となり、グラフィックス描画におけるような、比較的固まった表示領域へのアクセスが多い場合には、それぞれのモジュールが同時に処理できる確率が増加し、描画性能の向上が可能となる。

また、より多くのテクスチャデータを格納するために、インデックスカラーにおけるインデックスと、そのためのカラーlookupアップテーブル値を内蔵DRAM 147内部に格納するので、テクスチャデータの圧縮が可能となり、内蔵DRAMの効率良い利用が可能となる。

また、描画しようとしている物体の奥行き情報を、内蔵のDRAMに格納するので、描画と同時並行的に隠れ面処理を行うことが可能となる。

描画を行って、通常はそれを表示しようとするわけだが、ユニファイドメモリとして、テクスチャデータと表示データを同一のメモリシステムに同居させるこ

とができることから、直接表示に使わずに、描画データをテクスチャデータとして使ってしまうということも可能となる。

このようなことは、必要なときに必要なテクスチャデータを、描画によって作成する場合に有効となり、これもテクスチャデータを膨らませないための効果的な機能となる。

また、チップ内部にDRAMを内蔵することで、その高速なインターフェース部分がチップの内部だけで完結することになるため、大きな付加容量のI/Oバッファであるとか、チップ間配線容量をドライブする必要がなくなり、消費電力は内蔵しない場合に比較して小さくなる。

よって、さまざまな技術を使って、一つのチップの中だけですべてができるような仕組みは、今後の携帯情報端末等の身近なデジタル機器のためには、必要不可欠な技術要素となっている。

なお、本発明は上述した実施形態には限定されない。

また、上述した図2に示す3次元コンピュータグラフィックスシステムとしての画像処理装置10では、SRAM148を用いる構成を例示したが、SRAM148を設けない構成にしてもよい。

さらに、図2に示す3次元コンピュータグラフィックスシステムとしての画像処理装置10では、ポリゴンレンダリングデータを生成するジオメトリ処理を、メインプロセッサ11で行う場合を例示したが、レンダリング回路14で行う構成にしてもよい。

第2実施形態

図33は、本発明に係る演算装置を採用可能な画像処理装置の第2の実施形態を示すブロック構成図である。本第2の実施形態に係る画像処理装置400は、グラフィックス処理機能および画像処理機能を有し、複数の処理データを共有して並列処理を行う画像処理装置として構成されている。

この画像処理装置400は、図2のグラフィックスシステムに対応付けると、

レンダリング回路 14 の部分に相当する。

本画像処理装置 400 は、図 33 に示すように、処理ユニットとしての第 1 のグラフィックスユニット (L1CG) 401、コア部 402、キャッシュ (たとえば SRAM) 403-1 ~ 403-m、および EDRAM 404 を有している。

第 1 のグラフィックスユニット 401 は、グラフィックス処理の場合、三角形の頂点データに基づいてラスタライゼーションを行い、生成したピクセルデータをコア部 402 に供給する。

第 1 のグラフィックスユニット 401 において生成されるピクセルデータには、プライマリカラー (Primary Color: PC)、セカンダリカラー (Secondary Color: SC)、アンビエント (Ambient)、拡散係数、スペキュラ係数、シャイニネス係数、テクスチャ座標、ライトベクトル、ハーフベクトル等の各種データが含まれる。

第 1 のグラフィックスユニット 401 は、画像処理の場合には、たとえば図 2 のメインバス 15 を介して図示しない上位装置、たとえば図 2 のメインプロセッサ 11 から供給された EDRAM 404 から画像データを読み出すためのソースアドレスおよび画像処理結果を書き込むためのデスティネーションアドレスの生成に必要なコマンドやデータ、たとえば探索矩形領域の幅、高さデータ、ブロックサイズデータを入力し、入力データに基づいて、ソースアドレスを生成するとともに、デスティネーションアドレス (Xd, Yd) を生成し、コア部 402 に供給する。

第 1 のグラフィックスユニット 401 は、図 2 のレンダリング回路 14 の DDA セットアップ回路 141 とトライアングル DDA 回路 142 の機能を併せ持つ。

すなわち、第 1 のグラフィックスユニット 401 は、いわゆるラスタライゼーションに必要な各種データ (z, テクスチャ座標、カラーなど) の傾き等の DD

Aパラメータの算出を行う機能を有する。

具体的には、物理座標系上の三角形の各頂点の値を線形補間して、三角形の内部の各ピクセル（画素）の色と深さ情報を求めるに先立ち、ポリゴンレンダリングデータS11が示す（ z , R , G , B , s , t , q , α , F ）データについて、三角形の辺と水平方向の差分などを求めるセットアップ演算を行う。そして、算出した変分データを用いて、三角形内部の各ピクセルにおける線形補間された（ z , R , G , B , s , t , q , α , F ）データを算出する。

第1のグラフィックスユニット401は、各ピクセルの（ x , y ）データと、当該（ x , y ）座標における（ z , R , G , B , s , t , q , α , F ）データとを算出する。

コア部402は、本発明に係る演算装置を適用した演算処理部であり、コア402は第1のグラフィックスユニット401により各種データが供給される。

コア部402は、ストリームデータに対して演算処理を行う以下の機能ユニットを有している。

すなわち、コア部402は、第2のグラフィックスユニット（L2CG）4021、複数（ k 個、 k はたとえば4または8）の演算ユニット（OPU）を並列に配置した複数（たとえば m 個）の演算ユニット群4022-1～4022- m を有している。

コア部402は、たとえばデータフローグラフ（Data Flow Graph : DFG）に応じてこれらの機能ユニット間の接続を切り替えることにより様々なアルゴリズムに対応する。

さらに、コア部402は、一つの演算ユニットOPUに対して2個ずつで、 $2k$ 個のFIFOレジスタ（FIFO REG）構造のストリームレジスタSRを有し、各演算ユニット群4022-1～4022- m に対応して配置された m 個のストリームレジスタ群4023-1～4023- m 、および各ストリームレジスタ群4023-1～4023- m に対応して配置されたクロスバー回路（X-

bar) 4024-1~4024-mを有している。

そして、コア部402は、図34に示すように、演算ユニット群4022-1、ストリームレジスタ群4023-1、クロスバー回路4024-1、およびSRAMキャッシュ403-1を含めてOPUブロックBLK1が構成されている。同様に、演算ユニット群4022-2、ストリームレジスタ群4023-2、クロスバー回路4024-2、およびSRAMキャッシュ403-2を含めてOPUブロックBLK2が構成されている。そして、演算ユニット群4022-m、ストリームレジスタ群4023-m、クロスバー回路4024-m、およびSRAMキャッシュ403-mを含めてOPUブロックBLKmが構成されている。

このように、コア部402においては、一つの第2のグラフィックスユニット4021に対してm個のOPUブロックBLK1~BLKmが並列に配置されている。

第2のグラフィックスユニット4021は、図2のレンダリング回路14のテクスチャエンジン回路143の機能を併せ持つ。

すなわち、第2のグラフィックスユニット4021は、「s/q」および「t/q」の算出処理、テクスチャ座標データ(u, v)の算出処理、テクスチャバッファ147aからの(R, G, B)データの読み出し処理等を順にパイプライン方式で行う。

具体的には、第2のグラフィックスユニット4021は、(s, t, q)データについて、sデータをqデータで除算する演算と、tデータをqデータで除算する演算とを行う。

第2のグラフィックスユニット4021は、除算結果である「s/q」および「t/q」に、それぞれテクスチャサイズUSIZEおよびVSIZEを乗じて、テクスチャ座標データ(u, v)を生成する。

また、第2のグラフィックスユニット4021は、メモリI/F回路(たとえ

ばEDRAM404に含まれる)を介して、SRAMキャッシュ403-1~403-mあるいはEDRAM404に、生成したテクスチャ座標データ(u, v)を含む読み出し要求を出力し、メモリI/F回路を介して、SRAMキャッシュ403-1~403-mあるいはEDRAM404から、テクスチャバッファ147aに記憶されているテクスチャデータを読み出すことで、(s, t)データに対応したテクスチャアドレスに記憶された(R, G, B)データを得る。

第2のグラフィックスユニット4021は、グラフィックス処理に関連するものとして、パースペクティブコレクション(Perspective Correction)、MIPMAPレベル算出等の機能を有する。

第2のグラフィックスユニット4021は、第一のグラフィックスユニット401により供給された正規化テクセル座標(s, t, q) および/または演算ユニット群4022-1~4022-m内の演算ユニットOPUにより供給された正規化テクセル座標(s, t)に基づいて、パースペクティブコレクション、LOD(Level of Detail)計算によるミップマップ(MIPMAP)レベルの算出、立体マップ(Cube Map)の面選択やテクスチャ座標データ(u, v)の算出処理を行い、たとえばテクスチャ座標データ(u, v)およびLODデータ(lod)を含むグラフィックスデータをメモリI/F回路に対し出力する。

演算ユニット群4022-1~4022-mを構成する各演算ユニットOPUは、ストリームデータ処理を行う機能ユニットであって、内部に複数の演算器およびセレクタを有する。

各演算ユニット群4022-1~4022-mを構成する各演算ユニットOPU内の演算パイプに対しては、描画対象に関する情報や演算ユニット群あるいは隣接の演算ユニットOPUにおける演算結果が、たとえばクロスバー回路4024-1~4024-mにより所望のストリームレジスタSRに設定された後、クロスバー回路4024-1~4024-mを介さず、ストリームレジスタ群40

23-1~4023-mを介して直接的に供給される。

演算ユニット群4022-1~4022-mに入力されるデータとしては、たとえば描画する対象の表面に関する情報（面の方向、色、反射率、模様（テクスチャ）等）、表面にあたる光に関する情報（入射方向、強さなど）、過去の演算結果（演算の中間値）等が一般的である。

各演算ユニットOPUは、複数の演算器を有し、たとえば外部からの制御により演算経路を再構成可能な演算ユニットであって、所望の演算を実現するように、内部の演算器間の電氣的接続を確立し、入力されたデータを、演算器と電氣的接続網（インターコネクト）から形成される一連の演算器のデータパスに入力することで演算を行い、演算結果を出力する。

すなわち、演算ユニットOPUは、再構成可能なデータパスをたとえば複数有し、演算器（加算器、乗算器、乗加算器等）を、電氣的な接続網で接続し、複数個の演算器からなる演算回路を構成する。

そして、演算ユニットOPUは、このようにして再構成された演算回路に対して、連続してデータを入力し、演算を行うことが可能であり、たとえばツリー状のDFG（データフローグラフ）で表現される演算を、効率よくかつ少ない回路規模で実現できる接続網を使用して演算回路を構成することが可能である。

図35は、演算ユニット群4022-1（~4022-m）の演算ユニットOPUの具体的な構成例を示す回路図である。

なお、図35の構成では、各演算ユニットOPUに対応して設けられている2個のストリームレジスタSR1、SR2は、演算ユニットOPUに内蔵され、一体的に構成されている。

各演算ユニットOPUは、図35に示すように、演算パイプ501と、3つの2入力セクタ502~504、並びにストリームレジスタSR1、SR2を有している。

演算ユニットOPU内の2入力セクタ502~504は、OPU内またはO

P Uブロック内に存在する図示しない制御レジスタに設定されたデータにより制御される。制御レジスタの値は、所望の演算を実行するようなデータ伝播経路を実現する値がセットされる。

演算パイプ501は、再構成可能なデータパスをたとえば複数有し、演算器（加算器、乗算器、乗加算器等）を、電気的な接続網で接続し、複数個の演算器からなる演算回路を構成する。

演算パイプ501の出力はセクタ503, 504の一方の入力に供給される。セクタ502の一方の入力は、第1のグラフィックスユニット401あるいは第2のグラフィックスユニット402によるデータが供給され、他方の入力には隣接（図35の例では右隣）の演算ユニットO P UのストリームレジスタS R 1の出力が供給される。セクタ502の出力はセクタ503の他方の入力およびセクタ504の他方の入力に供給される。セクタ503の出力がストリームレジスタS R 1の一方の入力ポートに供給され、セクタ504の出力がストリームレジスタS R 2の一方の入力ポートに供給される。

ストリームレジスタS R 1の他方の入力ポートにはクロスバー回路4024-1（4024-2～4024-m）を介したデータが供給され、一方の出力ポートから保持データが演算パイプ501に供給され、他方の出力ポートから保持データが第2のグラフィックスユニット4021および隣接（図35の例では左隣）の演算ユニットO P Uのセクタ502に供給される。

ストリームレジスタS R 2の他方の入力ポートにはクロスバー回路4024-1（4024-2～4024-m）を介したデータが供給され、一方の出力ポートから保持データが演算パイプ501に供給され、他方の出力ポートから保持データがクロスバー回路4024-1（4024-2～4024-m）に供給される。

演算ユニット501は、基本演算として、減算、乗算、加算、およびアキュムレト（A c c）等の演算処理を組み合わせ、たとえば以下の各種演算処理を行

う。

- ・ $(A \pm B) \times C \pm B$
- ・ $(A \pm B) \times C \pm Acc$
- ・ $(A \pm B)^2 \pm Acc$
- ・ $A \pm B \pm C$
- ・ $A \pm B \pm Acc$
- ・ $A \times B$
- ・ 論理演算 (たとえばAND, OR, NOT)
- ・ ソースオペランドへの定数設定 (1~2個)
- ・ クランプ (Clamp) / サチュレーション (Saturation)
- ・ ソースデータの1, 2ビット左シフト
- ・ 演算結果の算術1, 2, 8ビット右シフト

図36は、上記の各種演算処理を行う演算パイプの具体的な構成例を示す回路図である。

演算パイプ501は、図36に示すように、加減算器601、PPG (Partial Product Generator) / CSA (Carry Save Adder) 602、加減算器603、論理演算器604、アキュムレータ605、左シフタ (L-Shift) 606、右シフタ (R-Shift) 607、クランプ (Clamp) / サチュレーション (Sat) 回路608、3入力セクタ609~613、4入力セクタ614, 615、および2入力セクタ616~620を有している。

演算パイプ501内の3入力セクタ609~613、4入力セクタ614, 615、および2入力セクタ616~620は、演算ユニットOPUまたはOPUブロック内に存在する図示しない制御レジスタの設定データにより制御される。

この演算パイプ501においては、3入力セクタ609~611に対して、

セクタ502の出力、ストリームレジスタSR1の1出力、およびストリームレジスタSR2の出力が供給され、演算パイプ501の演算結果であるクランプ(Clamp)／サチュレーション(Sat)回路608の出力がセクタ503, 504に供給される。

左シフタ(L-Shift)606では、セクタ612により選択されるパラメータ0, 1, 2に応じて 2^n の演算が行われる。また、右シフタ(R-Shift)607では、セクタ615により選択されるパラメータ0, 1, 2, 8に応じて $1/2^n$ の演算が行われる。

3入力セクタ609の出力は加減算器601および2入力セクタ619の一方の入力に供給される。3入力セクタ610の出力は2入力セクタ616, 620、および4入力セクタ614の第1入力に供給される。3入力セクタ611の出力は左シフタ(L-Shift)606に供給される。また、2入力セクタ617の一方の入力に選択データのMSB8ビットが、他方の入力にLSBの8ビットが入力される。セクタ618の一方の入力のMSBの8ビットにはセクタ617から出力される8ビットの値が入力され、同入力のLSBの8ビットには、セクタ611の出力のLSBの8ビットが入力される。

2入力セクタ616の他方の入力にはパラメータ0が供給され、その出力が加減算器601の他方の入力に供給される。加減算器601の出力は2入力セクタ618の他方の入力およびPPG/CSA602の一方の入力に供給され、セクタ618の出力がPPG/CSA602の他方の入力に供給される。PPGは乗算の為の部分積を生成する。この部分積をワラス等で知られるツリー状に構成したCSAで加算していくことで、一方の出力にキャリー出力が出力され、他方の出力にサム出力が出力される。この二つの出力を加減算器603で加算することにより乗算結果が得られる。

PPG/CSA602の一方の出力(キャリー出力)が2入力セクタ619の他方の入力に供給され、他方の出力が2入力セクタ620の他方の入力(サ

ム出力) に供給される。

4入力セレクタ614の第2入力にはパラメータ0が供給され、第3入力に左シフタ(L-Sh i f t) 606の出力が供給され、第4入力にアキュムレータ605の出力が供給される。

2入力セレクタ619の出力が加減算器603の第1入力および論理演算器604の一方の入力に供給され、2入力セレクタ620の出力が加減算器603の第2入力および論理演算器604の他方の入力に供給され、4入力セレクタ614の出力が加減算器603の第3入力に供給される。

加減算器603の出力がアキュムレータ605および3入力セレクタ613の第1入力に供給され、論理演算器604の出力が3入力セレクタ613の第2入力に供給され、セレクタ613の第3入力にアキュムレータ605の出力が供給される。

そして、セレクタ613の出力が右シフタ(R-Sh i f t) 607に供給され、右シフタ(R-Sh i f t) 607の出力が(C l a m p) /サチュレーション(S a t) 回路608に供給される。

図37は、ストリームレジスタSRの具体的な構成例を示す図であり、図38A、図38Bは、ストリームレジスタの動作を説明するための図である。なお、図38Aは演算結果が出力されない場合の例であり、図38Bは演算結果が出力される場合の例である。

ストリームレジスタSRは、ソースデータと演算結果の格納の両方に用いられる。これにより、F I F Oエントリの有効活用を図っている。

ストリームレジスタSRは、図37に示すように、入力側(ライト側)には2つの入力(ライト)ポートである第1入力ポートP T I 1および第2入力ポートP T I 2を有している。同様に、ストリームレジスタSRは、出力側(リード側)には2つの出力(リード)ポートである第1出力ポートP T O 1および第2出力ポートP T O 2を有している。

第1入力ポートPTI1は、セクタ503、504を介した演算パイプ501の演算結果または隣接の演算ユニットOPUからの直接フォワーディングのライトを行う。第2入力ポートPTI2は、クロスバー回路4024-1（～4024-m）からのデータのライトを行う。

また、第1出力ポートPTO1は、演算パイプ501側へソースデータを読み出す。第2出力ポートPTO2は、ポインタの操作により演算結果をリード（リザルトフォワーディング）し、また、ソースデータをリード（ソースフォワーディング）する。

ストリームレジスタSRの記憶領域本体の動作としては、図38A、図38Bに示すように、ソースデータが読まれた空いた領域に演算結果を書き込む。そして、入力FIFO兼出力FIFOとして機能する。

図38A、図38B中、左からFIFO内の所定領域を指している矢印のうち、図中、上側に記載されている矢印は第1入力ポートPTI1からのライト動作を示し、下側に記載されている矢印は第2入力ポートPTI2からのライト動作を示している。

また、FIFO内の所定領域から図中右側に出力しているように記載されている矢印のうち上側に記載されている矢印が第1出力ポートPTO1へのリード動作を示し、下側に記載されている矢印が第2出力ポートPTO2からのリード動作を示している。

図39は、クロスバー回路の構成例を示す回路図である。

この例では、1つのOPUブロックに4個の演算ユニットOPUが配置されている場合を示している。図39においても、演算ユニットOPU内にストリームレジスタSRが内蔵されている。

クロスバー回路は、コア部401が、DFGに応じて機能ユニット間の接続を替えることにより様々なアルゴリズムに対応可能なように、この接続切り替えを実現する。

このクロスバー回路4024は、隣接のOPUブロックのクロスバー回路からのデータの入力ラインL101、各OPUからの出力データの供給ラインL102～L105、図43に示されるクロスバー回路への下方からのデータ供給ラインL106～L113、並びに、隣接のOPUブロックのクロスバー回路とのデータ授受ラインL114と、各OPUに対する出力ラインL115～L122が配線され、図中、縦方向に配線されたラインL101～L113と横方向に配線されたラインL114～L122との全交差点に、第1のデータ選択回路（黒丸で示している）DSL1が配置されている。

また、ラインL115～L122には、伝播データを対応する演算ユニットOPUに入力させる第2のデータ選択回路（白丸で示している）DSL2が配置されている。

図40は、第1のデータ選択回路DSL1の構成例を示す回路図である。

図40中、b0～b15は束線入力の各ビットを示し、縦方向に配線された各ビットラインB0～B15と横方向に配線されたラインBL0～BL15とが、選択信号SELに応じて導通制御されるスイッチSW0～SW15により接続されている。

この第1のデータ選択回路DSL1では、選択信号SELがアクティブのときの全スイッチSW0～SW15が導通状態となり、ビットデータb0～b15がラインB0～B15からラインBL0～BL15に伝播され、転送される。

また、図41は、第2のデータ選択回路DSL2の構成例を示す回路図である。

。

第2のデータ選択回路DSL2は、図41に示すように、ラインBL0～BL15を伝播された束線入力を無条件にビットデータob0～ob15として対応する演算ユニットOPUに入力させる。

たとえばテクスチャデータ等はメモリから出力された順で演算に使用されるとは限らないことから、図42に示すように、上述した構成を有するクロスバー回

路 2024-1 ~ 2024-m を制御して、各入力データ p0 ~ p7 を適切な演算ユニット OPU の入力へと伝播させる。

図 43 および図 44 は、キャッシュの構成、機能を説明するための図であって、図 43 はリード系を示し、図 44 はライト系を示している。

図 43 および図 44 に示すようにキャッシュ 403-1 ~ 403-m は、図 2 の SRAM 148 に相当するテクスチャメモリ TEXM と、図 2 のメモリ I/F 回路 144 内（あるいは EDRAM の制御系内）に存在するバッファメモリ BUFM により構成される。

図 43 は、キャッシュ 403-1 ~ 403-m に格納されている EDRAM 404 のフレームバッファのキャッシュまたは第 1 のグラフィックスユニット 401 からの DDA 入力であるカラー値やベクタ値、他の OPU ブロックでバイリニアフィルタリングされた後のテクスチャ値等が読み出され、クロスバー回路 4024 に入力される経路を示している。

図中の 3 段接続されたセレクトア SLC101 ~ SLC103, SLC104 ~ SLC106, SLC107 ~ SLC109, SLC110 ~ SLC112 は、図 2 におけるメモリ I/F 回路 144 の一部として設けられ、同回路内に存在する図示しない制御レジスタの設定データによりデータ、具体的には、テクスチャメモリ TEXM のデータか、バッファメモリ BUFM のデータか、EDRAM 404 からの読み出しデータか、DDA データかを選択するように制御される。

そして、選択データがクロスバー回路 4024 に供給される。

また、他の OPU ブロックからのデータやフィルタ係数と DDA 入力との選択をするセレクトア SLC113 ~ SLC116 が設けられている。セレクトア SLC113 ~ SLC116 も、図示しない制御レジスタの設定データにより制御される。

また、図 44 に示すライト系に関しては、EDRAM 404 からの読み出しデータは、テクスチャ読み出しの場合には、テクスチャメモリ TEXM に書き込ま

れる。

フレームバッファFBやzバッファの場合には、バッファメモリBUFMに書き込まれる。

また、データバッファとして使用する場合には、各OPUブロックが担当する役割に応じて第1のグラフィックスユニット401からのDDA入力であるカラー値やベクタ値、他のOPUブロックで4近傍フィルタリングされた後のテクスチャ値等が格納される。

図中の3段接続されたセレクトタSLC121～SLC123, SLC124～SLC126, SLC127～SLC129, SLC130～SLC132は、図2におけるメモリI/F回路144の一部として設けられ、同回路内に存在する図示しない制御レジスタの設定データにより制御され、選択データがバッファメモリBUFMに供給される。

以上の構成を有するコア部402においては、たとえばグラフィックス処理時に、クロスバー回路402.4を介して所望のストリームレジスタSRに設定され、ストリームレジスタSRから直接的に入力された演算ユニットOPUにおける演算結果データ、並びに、第1のグラフィックスユニット401により所望のストリームレジスタSRに設定され、ストリームレジスタSRから直接的に入力されたプライマリカラー(PC)、セカンダリカラー(SC)、Fog係数(F)に基づいて、たとえばピクセルシェーダ(Pixel Shader)のような演算を行い、色データ(FR1, FG1, FB1)および混合値(ブレンド値:FA1)を求める。

このデータ(FR1, FG1, FB1, FA1)は、たとえば第2のグラフィックスユニット402.1に別個に設けられたライトユニットWUに転送される。

また、コア部402においては、グラフィックス処理時には、たとえば以下の処理を行う。

たとえば第2のグラフィックスユニット4021から直接的に供給された (s_1, t_1, lod_1), (s_2, t_2, lod_2) の値に基づいて、テクスチャアクセスのための (u, v) アドレス計算を行い、アドレスデータ (u_i, v_i, lod_i) に基づいて4近傍フィルタリングを行うための4近傍の (u, v) 座標、すなわち、(u_0, v_0), (u_1, v_1), (u_2, v_2), (u_3, v_3) を計算して、所望のテクセルデータをたとえばキャッシュを通して読み出す。

また、コア部402では、係数生成のためのデータ (u_f, v_f, lod_f) に基づいてテクスチャフィルタ係数Kを計算する。

そして、各演算ユニットOPUにおいて、色データ (TR, TG, TB) および混合値 (ブレンド値: TA) を求める。

一方、コア部402は、画像処理時には、たとえば以下の処理を行う。

たとえば第1のグラフィックスユニット401で生成されたソースアドレスに基づいて、たとえばキャッシュTEXMおよび/またはリードライトキャッシュBUFMを介して、EDRAM404に格納されている画像データを読み出し、読み出しデータに対して演算ユニットOPUにおいて所定の演算処理を行って、演算結果をたとえばライトユニットWUに転送する。

ライトユニットWUは、グラフィックス処理の場合には、ソースデータ、具体的には色データ (RGB) および混合値データ (A)、並びに奥行きデータ (Z) と、キャッシュからのデスティネーション色データ (RGB) および混合値データ (A)、並びに奥行きデータ (Z) に基づいて、 α ブレンディング、各種テスト、ロジカルオペレーションといったグラフィックス処理のピクセル書き込みに必要な演算を行い、演算結果をキャッシュに書き戻す。

また、ライトユニットWUは、画像処理の場合には、演算ユニットOPUによる演算結果のデータを、たとえば直接的に入力したデスティネーションアドレスに、キャッシュを介してEDRAM404に格納する。

以下、本第2の実施形態の特徴である演算処理部としてのコア部401におけるOPUブロックにおける動的再構成（リコンフィギュラブル）の処理、フィルタリングの概要、並列演算処理等について、図45A、図45B～図56に関連付けて順を追って説明する。

リコンフィギュラブルの演算処理について、まず、図45A、図45Bに関連付けて説明する。

この例では、図45Aの演算ユニットOPU2、OPU3が、図45Bのツリーの上段の2つの演算（ここでは乗算）に対応する演算を行う。

この例において、クロスバー回路4024内のスイッチおよび演算ユニットOPU内のセクタを切り替えて図45Aに示すようなデータ転送経路を確立する。

この場合、SRAMキャッシュ403からツリーへの入力に対応する2つのデータがそれぞれ読み出され、クロスバー回路4024を介し、さらに各演算ユニットOPU2、OPU3のストリームレジスタSR1、SR2を通して各演算パイプ501に供給される。各演算ユニットOPU2、OPU3の各演算パイプ501では、乗算が行われる。

演算ユニットOPU2の演算結果は、セクタ503を介し、ストリームレジスタSR1を介して、演算ユニットOPU1に入力される。演算ユニットOPU1では、この入力データがセクタ502で選択されて演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU3の演算結果は、セクタ504を介し、ストリームレジスタSR2を介して、さらにクロスバー回路4024を介して演算ユニットOPU1に入力される。演算ユニットOPU1では、この入力データがストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU1には、SRAM403から読み出されたデータがクロスバー回路4024を介して入力され、ストリームレジスタSR1を介して演算パ

イプ501に供給される。そして、演算ユニットOPU1の演算パイプ501では、ツリーの下段の演算（ここでは加算）に対応する演算が行われる。すなわち、演算ユニットOPU2、OPU3の乗算結果と、EDRAM404からの読み出しデータの加算が行われ、その結果が、セレクタ504、さらにストリームレジスタSR2を介し、クロスバー回路4024を通さずにEDRAM404に格納される。

また、図46および図47は、コンボリューションフィルタリング処理についての説明図である。

コンボリューションフィルタリング処理は、基本的には、図46に示すように、フィルタ係数行列IM1の各要素であるフィルタ係数COFを演算ユニットに供給する。

また、EDRAM404の演算の対象となる画像領域ARから（直下のメモリ）から画素値を読み出す（図中1で示す）。以下後続する2～4で示す画素値を読み出し、シフトインして演算ユニットOPUに供給する。この場合、カーネルサイズ1個のデータをシフトインすれば1ライン分の計算が完了する。

図47は、2つの演算ユニットOPU1、OPU2を用いた場合の例である。基本的には図46の場合と同様であるが、演算ユニットOPU2では、1画素ずれた位置での計算を行う。

演算ユニットOPUが3個以上の場合も1画素ずつずれた位置で演算を実行することになる。

次に、コンボリューションフィルタリング処理に対応した並列演算の例について図48A、図48B、図49に関連付けて説明する。この例では、演算ユニットはOPU1～OPU6の6個を例として示している。

この例においても、クロスバー回路4024内のスイッチおよび演算ユニットOPU内のセレクタを切り替えて図48A、図48B、および図49に示すようなデータ転送経路を確立する。

並列演算の場合には、図48Aに示すように、EDRAM404（あるいはSRAMキャッシュ）の各演算ユニットOPU1～OPU6の直下の位置にあるメモリ上の画像データがクロスバー回路4024を介して一度に読み出される（図中、太線の矢印）。各演算ユニットOPU1～OPU6では、ストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に読み出しデータが供給される。

また、メモリからフィルタ係数データが読み出され、クロスバー回路4024を介して所望の演算ユニットOPU1～OPU6に供給される。各演算ユニットOPU1～OPU6では、ストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に係数データが供給される。

各演算ユニットOPU1～OPU6では、所望の演算が行われた後、図48Bに示すように、演算ユニットOPU6側からOPU1に向かって順に、セレクタ503、ストリームレジスタSR1、および隣接ユニットのセレクタ502を介してソースフォワードリングされ、OPUブロック全体で画像データがシフトされる。

メモリから継続する画像データおよびフィルタ係数が読み出され、クロスバー回路4024を介して所望の演算ユニットOPU1～OPU6に供給される。各演算ユニットOPU1～OPU6では、ストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に係数等のデータが供給される。

図49は、以下の演算を行う場合の並列演算処理を示している。

$$H(n) = (2 \times P(2n+1) - (P(2n) + P(2n+2))) / 2$$

$$L(n) = (4 \times P(2n) + H(n-1) + (H(n))) / 4$$

この場合には、図49に示すように、たとえばEDRAM404（あるいはSRAMキャッシュ）の画像データ $P(2n-1)$ 、 $P(2n)$ 、 $P(2n+1)$ 、 $P(2n+2)$ 、 $P(2n+3)$ 、 $P(2n+4)$ がクロスバー回路4024を介して各演算ユニットOPU1～OPU6に読み出される（図中、太線の矢印）。ただし、データ $P(2n)$ は、演算ユニットOPU2およびOPU3に供給

される。

演算ユニットOPU4に入力されたデータ $P(2n+2)$ は、ストリームレジスタSR1を介して隣接の演算ユニットOPU3に供給され、セレクタ502を通して演算パイプ501に供給される。また、演算ユニットOPU3に入力されたデータ $P(2n)$ はストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給され、データ $P(2n+1)$ はストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU3の演算パイプ501では、データ $P(2n+1)$ を2倍する第1の演算と、データ $P(2n)$ と $P(2n+2)$ とを加算する第2の演算が行われ、第1の演算結果 $2 \times P(2n+1)$ から第2の演算結果 $(P(2n) + P(2n+2))$ を減算する第3の演算が行われる。そして、第4の演算として右シフトにて1ビットシフトして第3の演算結果が2分の1されて $H(n)$ が求められる。

演算ユニットOPU3の演算結果は、セレクタ503を介し、ストリームレジスタSR1を介して、演算ユニットOPU2に入力される。演算ユニットOPU2では、この入力データがセレクタ502で選択されて演算パイプ501に供給される。また、演算ユニットOPU2に入力されたデータ $P(2n)$ はストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給される。また、演算ユニットOPU1の演算結果である $H(n-1)$ がクロスバー回路2042を介して演算ユニットOPU2に入力され、ストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU2の演算パイプ501では、データ $P(2n)$ を4倍する第1の演算と、データ $H(n-1)$ と $H(n)$ とを加算する第2の演算が行われ、第1の演算結果 $4 \times P(2n)$ と第2の演算結果 $(H(n-1) + H(n))$ を加算する第3の演算が行われる。そして、第4の演算として右シフトにて2ビットシフトして第3の演算結果が4分の1されて $L(n)$ が求められる。

次に、演算ユニット群が担当する演算対象を固定化してグラフィックス処理を行う場合の例について説明する。

図50は、演算ユニット群が担当する演算対象を固定化してグラフィックス処理を行う場合のコア部の構成例を示す図である。

この例では、1つの第1のグラフィックスユニット401に対して4つのコア部402A～402Dが並列に配置されている。そして、各コア部402A～402Dの各々で、1ピクセルパイプを構成する。

各コア部402A～402Dにおいては、第2のグラフィックスユニット4021-A～4021-Dに対してそれぞれ、複数のOPUブロックを含む演算担当が固定化された演算ブロック(OPUs)4022A-1～4022A-4、4022B-1～4022B-4、4022C-1～4022C-4、4022D-1～4022D-4が並列に配置されている。

なお、以下では、コア部402Aを例に説明する。

図50の例では、コア部402Aに配置された4つの演算部ブロック4022A-1～4022A-4のうち、演算ブロック4022A-2、4022A-3の2つが色計算担当として固定化され、演算ブロック4022A-1、4022A-4の2つがフィルタ担当として固定化されている。

このように担当を固定化することで、第2のグラフィックスユニット4021内のデータ転送経路を固定化でき、回路量を最低限にすることができる。すなわち、固定化することで、各種グラフィックスデータを各OPUブロックに適時分配する必要がなく、回路が簡単化できる。

以下、色計算担当の演算ブロック4022A-2、4022A-3とフィルタ担当の演算ブロック4022A-1、4022A-4の処理例を図51～図56に関連付けて説明する。なお、以下の説明では、各演算ブロックは、8個の演算ユニットOPU1～OPU8により構成されているものとする。

まず、色計算担当の演算ブロック4022A-2（4022A-3）について

図5 1～図5 4に関連付けて説明する。

色計算担当の演算ブロック4 0 2 2 A-2 (4 0 2 2 A-3)においては、概念的には、図5 1に示すように、テクスチャデータT. r, g, T. b, aが所定の演算ユニット、たとえばOPU7, OPU8に供給されるとともに、DDA入力としてプライマリカラー(PC)、セカンダリカラー(SC)、アンビエント(Ambient)、拡散係数、スペキュラ係数、シャイニネ係数、テクスチャ座標、ライトベクトル、ハーフベクトル等の各種データが所望の演算ユニットOPU1～OPU6供給される。そして、色計算結果P. r, gおよびP. b, aがライトユニットWUに転送される。

図5 2および図5 3は色計算演算ブロックにおける具体的な処理例について説明するための図である。

色計算演算ブロックにおいては、ライトマップ(light map)から得られるライトベクトルと、法線マップから得られる法線ベクトルの内積を求め(図5 2)、求めた内積にプライマリカラーを乗算してピクセルの色P. r, gおよびP. b, aを求める(図5 3)。

この例においても、クロスバー回路4 0 2 4内のスイッチおよび演算ユニットOPU内のセレクタを切り替えて図5 2および図5 3に示すようなデータ転送経路を確立する。

具体的には、図5 2に示すように、法線マップデータtex(nmap). xがクロスバー回路2 0 2 4を介して演算ユニットOPU8に入力され、法線マップデータtex(nmap). yがクロスバー回路2 0 2 4を介して演算ユニットOPU7に入力され、法線マップデータtex(nmap). zがクロスバー回路2 0 2 4を介して演算ユニットOPU6に入力される。

また、ライトデータtex(light). xがクロスバー回路2 0 2 4を介して演算ユニットOPU8に入力され、ライトデータtex(light). yがクロスバー回路2 0 2 4を介して演算ユニットOPU7に入力され、ライトデ

ータ $\text{tex}(\text{light})$ 、 z がクロスバー回路 2024 を介して演算ユニット OPU6 に入力される。

演算ユニット OPU8 に入力された法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$ 、 x は、ストリームレジスタ SR2 を介して演算パイプ 501 に供給され、ライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 、 x はストリームレジスタ SR1 を介して演算パイプ 501 に供給される。

演算ユニット OPU8 の演算パイプ 501 では、法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$ 、 x とライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 、 x とが乗算される。演算ユニット OPU8 の演算結果 $\{\text{tex}(\text{nmap}) \cdot x \times \text{tex}(\text{light}) \cdot x\}$ は、セレクタ 503 を介し、ストリームレジスタ SR1 を介して、演算ユニット OPU7 に入力される。演算ユニット OPU7 では、この入力データがセレクタ 502 で選択されて演算パイプ 501 に供給される。また、演算ユニット OPU7 に入力された法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$ 、 y は、ストリームレジスタ SR2 を介して演算パイプ 501 に供給され、ライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 、 y はストリームレジスタ SR1 を介して演算パイプ 501 に供給される。

演算ユニット OPU7 の演算パイプ 501 では、法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$ 、 y とライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 、 y とを乗算する第 1 の演算が行われ、第 1 の演算結果 $\{\text{tex}(\text{nmap}) \cdot y \times \text{tex}(\text{light}) \cdot y\}$ とフォワードインデータ $\{\text{tex}(\text{nmap}) \cdot x \times \text{tex}(\text{light}) \cdot x\}$ を加算する第 2 の演算が行われる。演算ユニット OPU7 の演算結果 $\{\text{tex}(\text{nmap}) \cdot x \times \text{tex}(\text{light}) \cdot x + \text{tex}(\text{nmap}) \cdot y \times \text{tex}(\text{light}) \cdot y\}$ は、セレクタ 503 を介し、ストリームレジスタ SR1 を介して、演算ユニット OPU6 に入力される。演算ユニット OPU6 では、この入力データがセレクタ 502 で選択されて演算パイプ 501 に供給される。また、演算ユニット OPU6 に入力された法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$

）。 z は、ストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給され、ライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 。 z はストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU6の演算パイプ501では、法線マップデータ $\text{tex}(\text{nmap})$ 。 z とライトデータ $\text{tex}(\text{light})$ 。 z とを乗算する第1の演算が行われ、第1の演算結果 $[\text{tex}(\text{nmap}) \cdot z \times \text{tex}(\text{light}) \cdot z]$ とフォワードインデータ $[\text{tex}(\text{nmap}) \cdot x \times \text{tex}(\text{light}) \cdot x + \text{tex}(\text{nmap}) \cdot y \times \text{tex}(\text{light}) \cdot y]$ を加算する第2の演算が行われる。演算ユニットOPU7の演算結果 $[\text{tex}(\text{nmap}) \cdot x \times \text{ライトデータ} \text{tex}(\text{light}) \cdot x + \text{tex}(\text{nmap}) \cdot y \times \text{ライトデータ} \text{tex}(\text{light}) \cdot y + \text{tex}(\text{nmap}) \cdot z \times \text{tex}(\text{light}) \cdot y] z]$ 、すなわちライトベクトルと法線ベクトルの内積値は、セクタ504を介し、ストリームレジスタSR2を介して、さらにクロスバー回路4024を通して図53に示すように、演算ユニットOPU1およびOPU2に供給される。

そして、演算ユニットOPU1においては、プライマリカラーPC. r , g がセクタ502を介して演算パイプ501に供給され、内積値がストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給される。そして、演算パイプ501において、プライマリカラーPC. r , g と内積値とが乗算されて色データP. r , g が求められ、セクタ503、ストリームレジスタSR1を介して第2のグラフィックスユニット4021-AのライトユニットWUに転送される。

演算ユニットOPU2においては、プライマリカラーPC. b , a がセクタ502を介して演算パイプ501に供給され、内積値がストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給される。そして、演算パイプ501において、プライマリカラーPC. b , a と内積値とが乗算されて色データP. b , a が求められ、セクタ503、ストリームレジスタSR1を介して第2のグラフィ

ックスユニット4021-AのライトユニットWUに転送される。

また、図54は、単純にプライマリカラーとテクスチャをブレンドする場合の演算処理例を示す図である。

この例においても、クロスバー回路4024内のスイッチおよび演算ユニットOPU内のセレクタを切り替えて図54に示すようなデータ転送経路を確立する。

この場合、演算ユニットOPU5～OPU8で計算が行われる。演算ユニットOPU5～OPU8には共通にテクスチャデータTex. b, aが供給され、演算ユニットOPU8にプライマリカラーPC. b, aが供給され、演算ユニットOPU6にプライマリカラーPC. r, gが供給され、演算ユニットOPU5にはテクスチャデータTex. r, gが供給される。

演算ユニットOPU8の演算パイプ501における演算結果 $Pc. b \times (1 - Tex. a) = out. b$ および $Pc. a \times (1 - Tex. a) = out. a$ が演算ユニットOPU7にフォワードインデータとして供給される。

演算ユニットOPU7の演算パイプ501において、ブレンド後の色データPb, a、具体的には、 $[Tex. b \times Tex. a + out. b]$ および $[Tex. a \times Tex. a + out. a]$ が第2のグラフィックスユニット4021-AのライトユニットWUに転送される。

また、演算ユニットOPU6の演算パイプ501における演算結果 $Pc. r \times (1 - Tex. a) = out. r$ および $Pc. g \times (1 - Tex. a) = out. g$ が演算ユニットOPU5にフォワードインデータとして供給される。

演算ユニットOPU5の演算パイプ501において、ブレンド後の色データPr, g、具体的には、 $[Tex. r \times Tex. a + out. r]$ および $[Tex. g \times Tex. a + out. g]$ が第2のグラフィックスユニット4021-AのライトユニットWUに転送される。

次に、フィルタ担当の演算ブロック4022A-1 (4022A-4) につい

て図 5 5, 図 5 6 に関連付けて説明する。

色計算担当の演算ブロック 4 0 2 2 A-1 (4 0 2 2 A-4) においては、図 5 5 に示すように、色計算データ P. r, g および P. b, a がライトユニット WU に供給される。また、ライトユニット WU にはフレームバッファから読み出した画素値が供給される。図 5 5 の例では、演算ユニット OPU1, OPU2 は使用されない。

演算ユニット OPU8 にデータ T3. b, a, T4. b, a および係数 V f が供給され、演算ユニット OPU7 にデータ T1. b, a, T2. b, a, および係数 U f が供給され、演算ユニット OPU8 の演算結果と演算ユニット OPU7 の演算結果が演算ユニット OPU6 に供給される。演算ユニット OPU6 では、係数 U f および演算ユニット OPU8, OPU7 の演算結果に基づいてテクスチャデータ T. b, a が計算される。

また、演算ユニット OPU5 にデータ T3. r, g, T4. r, g および係数 V f が供給され、演算ユニット OPU4 にデータ T1. r, g, T2. r, g, および係数 U f が供給され、演算ユニット OPU5 の演算結果と演算ユニット OPU4 の演算結果が演算ユニット OPU3 に供給される。演算ユニット OPU3 では、係数 U f および演算ユニット OPU5, OPU4 の演算結果に基づいてテクスチャデータ T. r, g が計算される。

また、ライトユニット WU は、フレームバッファから読み出した画素値と色計算データ P. r, g および P. b, a とのブレンド処理を行う。そして、色データおよび混合値データ (a)、並びに奥行きデータ (Z) に基づいて、 α ブレンドリング、Z テスト、ステンシルテストを行い、テストをパスした場合にフレームバッファにピクセル値を書き込む。

図 5 6 は、フィルタ処理演算ブロックにおける具体的な処理例について説明するための図である。

この例は、4 近傍フィルタリング処理を行う場合である。なお、ここでは、演

算ユニットOPU6～OPU8の処理について説明する。演算ユニットOPU3～OPU5の処理については、演算ユニットOPU6～OPU8と同様に行われることからその説明は省略する。

この例においても、クロスバー回路4024内のスイッチおよび演算ユニットOPU内のセレクトを切り替えて図56に示すようなデータ転送経路を確立する。

上述したように、演算ユニットOPU8には、データT3. b, a、T4. b, aがクロスバー回路4024を介して供給され、係数Vfが供給される。データT3. b, aはストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給され、データT4. b, aはストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給され、係数Vfはセレクト502を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU8の演算パイプ501においては、データT3. b, aからT4. b, aを減算する第1の演算が行われ、この減算結果〔T3. b, a－T4. b, a〕に対して係数Vfを乗算する第2の演算が行われ、さらにこの乗算結果〔(T3. b, a－T4. b, a)×Vf〕にT4. b, aが加算する第3の演算が行われる。そして、この演算結果〔(T3. b, a－T4. b, a)×Vf+T4. b, a〕=out2. b, aがセレクト504、ストリームレジスタSR2を介し、さらにクロスバー回路4024を介して演算ユニットOPU6に供給される。

演算ユニットOPU7には、データT1. b, a、T2. b, aがクロスバー回路4024を介して供給され、係数Vfが供給される。データT1. b, aはストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給され、データT2. b, aはストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給され、係数Vfはセレクト502を介して演算パイプ501に供給される。

演算ユニットOPU7の演算パイプ501においては、データT1. b, aか

ら $T2.b, a$ を減算する第1の演算が行われ、この減算結果 $[T1.b, a - T2.b, a]$ に対して係数 Vf を乗算する第2の演算が行われ、さらにこの乗算結果 $[(T1.b, a - T2.b, a) \times Vf]$ に $T2.b, a$ が加算する第3の演算が行われる。そして、この演算結果 $[(T1.b, a - T2.b, a) \times Vf + T2.b, a] = out1.b, a$ がセレクタ504、ストリームレジスタSR2を介し、さらにクロスバー回路4024を介して演算ユニットOPU6に供給される。

演算ユニットOPU6においては、演算結果 $out1.b, a$ がストリームレジスタSR1を介して演算パイプ501に供給され、演算結果 $out2.b, a$ がストリームレジスタSR2を介して演算パイプ501に供給され、セレクタ501を介して係数 Uf が供給される。

演算ユニットOPU6の演算パイプ501においては、演算結果データ $out1.b, a$ から $out2.b, a$ を減算する第1の演算が行われ、この減算結果 $[out1.b, a - out2.b, a]$ に対して係数 Uf を乗算する第2の演算が行われ、さらにこの乗算結果 $[(out1.b, a - out2.b, a) \times Uf]$ に $out2.b, a$ を加算する第3の演算が行われる。そして、この演算結果 $[(out1.b, a - out2.b, a) \times Uf] + out2.b, a = T.b, a$ がセレクタ503、ストリームレジスタSR1を介して第2のグラフィックスユニット4021-Aに転送される。

以上のように、本第2の実施形態に係る画像処理装置によれば、大量の演算器を効率よく利用することが可能で、アルゴリズムの自由度が高く、柔軟性が高く、しかも回路規模の増大、コスト増を招くことなく、複雑な処理を高スループットで処理することができる。

また、コア部402は、分岐のないデータフローグラフで表現されるアルゴリズムを実行し、DFGのノードとエッジは、演算器や演算ユニットとその接続関係と見ることができることができる。したがって、コア部は、実行するDFGに

応じて、演算リソース間の接続を動的に切り替える、いわゆる動的再構成可能なハードウェアであり、演算器で実行する機能やそれらの接続関係が処理ユニットのマイクロプログラムに相当し、ストリームデータの各要素に適用されるDFGは同じであるので、命令発行のバンド幅を低くおさえることができる。

また、コア部402は、演算機能の指定や演算器間接続の切り替え制御は、データドリブンであり、分散自立型制御といえる。

このような動的スケジューリングを採用することにより、DFGが切り替わる際に、エピログ/プロログのオーバーラップが可能であり、DFGの切り替えのオーバーヘッドを低減することができる。

また、DFGの規模が大きくなるとアルゴリズムを内部演算リソースに一度にマッピングすることができなくなる。このような場合には、複数のサブDFG（sub-DFG）に分割する必要がある。

複数のサブDFGに分けて実行する方法として、サブDFG間の中間値をメモリに格納するマルチパス手法があげられる。この方法では、パス数が増大するとメモリバンド幅を消費し性能低下を招く。

コア部は、前述するように演算器や演算ユニット間のストリームデータの受け渡しをFIFO型のストリームレジスタを介して行うことから、DFG分割実行時に、このレジスタファイルを介して中間値を渡すことが可能で、マルチパスの回数を低減することができる。

DFGの分割そのものは、コンパイラにより静的に行われるが、分割されたDFGの実行制御はハードウェアが行うのでソフトウェアへの負担が軽いという利点がある。

産業上の利用可能性

本発明に係る演算装置および画像処理装置は、各種の演算に対応でき、かつ開発時点で想定されていなかった演算方式にも容易に対応できる、かつ、3次元グ

グラフィックスにおいて、実時間での描画に十分な描画能力を発揮することができることから、たとえばグラフィックス処理機能および画像処理機能を有し、複数の処理データを共有して並列処理を行う画像処理システム等に適用可能である。

請求の範囲

1. 複数の演算器を有する演算装置であって、

制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電氣的な接続網で接続し、複数個の演算器間の電氣的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網

を有する演算装置。

2. 上記接続回路網は、制御信号を受けて連続してデータを入力し、ツリー状のデータフローグラフで表現される演算を実行可能な演算回路を構成する

請求項 1 記載の演算装置。

3. 上記接続回路網は、データバス上の所望の位置にセレクタを有し、 $2n$ 本の入力データバスがある場合、 $n-2$ 個の演算器は、入力データバス一対と、前段の演算器の出力をセレクタで選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項 1 記載の演算装置。

4. 上記接続回路網は、上記 n 個以外の少なくとも 1 個の演算器は、 $2n-n$ 本の入力データバスのデータすべてと、前段の出力を選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項 3 記載の演算装置。

5. 再構成可能な上記データバスを使用してパイプライン処理を行う際に、制御信号を受けて演算器間の電氣的接続を変更することが可能な制御回路

を有する請求項 1 記載の演算装置。

6. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える

請求項 5 記載の演算装置。

7. 上記制御回路、接続網の個々の接続点に対応して設けられ、各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項 5 記載の演算装置。

8. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各演算器に対応して設けられた各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替え、

接続網の個々の接続点に対応して設けられた各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点を制御の切り替える

請求項 5 記載の演算装置。

9. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）の 2 つを保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報を次制御情報で書き換える

請求項 5 記載の演算装置。

10. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）と、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）を保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが一の演算処理に対するものか、他の演算処理に対するものかを識別可能な情報を示す制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識

別情報で示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報、現識別情報をそれぞれ次制御情報、次識別情報で書き換える

請求項 5 記載の演算装置。

1 1. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項 1 記載の演算装置。

1 2. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項 5 記載の演算装置。

1 3. レジスタファイルと、

演算器プールとを有し、

上記演算器プールは、データバスによりレジスタファイルとのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部を有し、

上記演算部は、複数の演算器と、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数の演算器間の電気的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網とを含む

演算装置。

1 4. 上記接続回路網は、制御信号を受けて連続してデータを入力し、ツリー状のデータフローグラフで表現される演算を実行可能な演算回路を構成する

請求項 1 3 記載の演算装置。

1 5. 上記接続回路網は、データバス上の所望の位置にセレクタを有し、 $2n$ 本の入力データバスがある場合、 $n-2$ 個の演算器は、入力データバス一対と、前段の演算器の出力をセレクタで選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項 1 3 記載の演算装置。

1 6. 上記接続回路網は、上記 n 個以外の少なくとも 1 個の演算器は、入力データすべてと、前段の出力を選択して次段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項 1 3 記載の演算装置。

1 7. 再構成可能な上記データバスを使用してパイプライン処理を行う際に、制御信号を受けて演算器間の電氣的接続を変更することが可能な制御回路

を有する請求項 1 3 記載の演算装置。

1 8. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える

請求項 1 7 記載の演算装置。

1 9. 記制御回路、接続網の個々の接続点に対応して設けられ、各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項 1 7 記載の演算装置。

2 0. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各演算器に対応して設けられた各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替え、

接続網の個々の接続点に対応して設けられた各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項 1 7 記載の演算装置。

2 1. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）の 2 つを保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報を次制御情報で書き換える

請求項 1 7 記載の演算装置。

2 2. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）と、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）を保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが一の演算処理に対するものか、他の演算処理に対するものを識別可能な情報を示す制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識別情報で示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報、現識別情報をそれぞれ次制御情報、次識別情報で書き換える

請求項 1 7 記載の演算装置。

2 3. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項 1 3 記載の演算装置。

2 4. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項 1 7 記載の演算装置。

2 5. 複数の演算ユニットと、

上記複数の演算ユニット間を所望の形態で相互に接続するクロスバー回路と、を有し、

上記複数の演算ユニットの各々は、

入力データに対して所望の演算を行う演算パイプと、

隣接する演算ユニットの演算結果データまたは外部からの供給データのうちの一方を選択し、上記演算パイプに入力させるセレクタと、

上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を隣接の演算ユニットに転送するストリームレジスタと、

を少なくとも有する演算装置。

26. 上記演算ユニットは、上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を上記クロスバー回路に転送する第2のストリームレジスタを含む

請求項25記載の演算装置。

27. 上記演算ユニットに入力されるデータは、グラフィックス処理に関するデータまたは画像処理に関するデータである

請求項25記載の演算装置。

28. 上記演算ユニットに入力されるデータは、グラフィックス処理に関するデータまたは画像処理に関するデータである

請求項26記載の演算装置。

29. 少なくとも画像データを記憶する記憶回路と、

上記記憶回路の記憶データに基づいて、画像データに所定の処理を行うロジック回路と

を有し、

上記ロジック回路は、複数の演算器を有し、制御信号に応じて再構成可能なデータパスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数の演算器間の電気的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網を有する演算装置を含む

画像処理装置。

30. 上記接続回路網は、制御信号を受けて連続してデータを入力し、ツリー状のデータフローグラフで表現される演算を実行可能な演算回路を構成する

請求項29記載の画像処理装置。

31. 上記接続回路網は、データバス上の所望の位置にセレクタを有し、 $2n$ 本の入力データバスがある場合、 $n-2$ 個の演算器は、入力データバス一対と、前段の演算器の出力をセレクタで選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項29記載の画像処理装置。

32. 上記接続回路網は、上記 n 個以外の少なくとも1個の演算器は、入力データすべてと、前段の出力を選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項31記載の画像処理装置。

33. 再構成可能な上記データバスを使用してパイプライン処理を行う際に、制御信号を受けて演算器間の電氣的接続を変更することが可能な制御回路

を有する請求項29記載の演算装置。

34. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える

請求項33記載の演算装置。

35. 上記制御回路、接続網の個々の接続点に対応して設けられ、各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項33記載の画像処理装置。

36. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各演算器に対応して設けられた各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演

算に向けた制御に切り替え、

接続網の個々の接続点に対応して設けられた各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項 3 3 記載の画像処理装置。

3 7. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）の 2 つを保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報を次制御情報で書き換える

請求項 3 3 記載の画像処理装置。

3 8. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）と、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）を保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが一の演算処理に対するものか、他の演算処理に対するものかを識別可能な情報を示す制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識別情報で示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報、現識別情報をそれぞれ次制御情報、次識別情報で書き換える

請求項 3 3 記載の画像処理装置。

3 9. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項 2 9 記載の画像処理装置。

40. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項33記載の画像処理装置。

41. 少なくとも画像データを記憶する記憶回路と、

上記記憶回路の記憶データに基づいて、画像データに所定の処理を行うロジック回路と

を有し、

上記ロジック回路は、レジスタファイルと、演算器プールとを有し、

上記演算器プールは、データバスによりレジスタファイルとのデータの授受を行う少なくとも一つの演算部を有し、上記演算部は、複数の演算器と、制御信号に応じて再構成可能なデータバスを複数有し、上記演算器を、電気的な接続網で接続し、複数の演算器間の電気的接続を確立して複数の演算器からなる演算回路を構成する接続回路網とを含む演算装置

を有する画像処理装置。

42. 上記接続回路網は、制御信号を受けて連続してデータを入力し、ツリー状のデータフローグラフで表現される演算を実行可能な演算回路を構成する

請求項41記載の画像処理装置。

43. 上記接続回路網は、データバス上の所望の位置にセレクタを有し、 $2n$ 本の入力データバスがある場合、 $n-2$ 個の演算器は、入力データバス一対と、前段の演算器の出力をセレクタで選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項41記載の画像処理装置。

44. 上記接続回路網は、上記 n 個以外の少なくとも1個の演算器は、入力データすべてと、前段の出力を選択して自段の演算器に入力するように演算回路を構成する

請求項43記載の画像処理装置。

45. 再構成可能な上記データバスを使用してパイプライン処理を行う際に、制御信号を受けて演算器間の電氣的接続を変更することが可能な制御回路

を有する請求項31記載の演算装置。

46. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替える

請求項45記載の演算装置。

47. 上記制御回路、接続網の個々の接続点に対応して設けられ、各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項45記載の画像処理装置。

48. 上記制御回路は、個々の演算器および接続網の個々の接続点に対応してそれぞれ設けられ、各演算器に対応して設けられた各制御回路は、次に行うべき演算に関する情報を保持し、一連の演算の終了を検出した際に、自動的に次の演算に向けた制御に切り替え、

接続網の個々の接続点に対応して設けられた各制御回路は、次にとるべき接続構成に関する情報を保持し、一連のデータ転送の終了を検出した際に、自動的に接続点の制御を切り替える

請求項45記載の画像処理装置。

49. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）の2つを保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、最終データであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報を次制御情報で書き換える

請求項45記載の画像処理装置。

50. 上記制御回路は、現在の制御情報（現制御情報）と現在実行中の演算を識別するための情報（現識別情報）と、次に行うべき制御に関する情報（次制御情報）と、次に実行する演算を識別するための情報（次識別情報）を保持し、

演算データは、当該演算データが演算に使用する最終データであることが識別可能な情報、およびそのデータが一の演算処理に対するものか、他の演算処理に対するものかを識別可能な情報を示す制御信号と同期して送られ、

上記制御回路は、送られてきたデータが、最終データであり、かつ現識別情報で示される演算に対するものであることが識別された場合、現在実行中の演算が完了すると、現制御情報、現識別情報をそれぞれ次制御情報、次識別情報で書き換える

請求項45記載の画像処理装置。

51. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項41記載の画像処理装置。

52. 入力されるデータは、少なくとも描画する対象の表面に関する情報、表面にあたる光に関する情報、過去の演算結果のいずれかである

請求項45記載の画像処理装置。

53. グラフィックス処理機能および画像処理機能を有する画像処理装置であって、

画像に関するデータを記憶するメモリと、

グラフィックス処理時には、少なくとも色に関するデータを含むグラフィックスピクセルデータを生成し、画像処理時には、少なくとも上記メモリに記憶されているデータを読み出すためのソースアドレスを生成する処理ユニットと

上記処理ユニットで生成されたデータに基づいて所定のグラフィックス処理または画像処理を行うコア部と、

を有し、

上記コア部は、

複数の演算ユニットと、

上記複数の演算ユニット間および上記メモリと演算ユニット間を所望の形態で相互に接続するクロスバー回路と、を有し、

上記複数の演算ユニットの各々は、

入力データに対して所望の演算を行う演算パイプと、

隣接する演算ユニットの演算結果データまたは外部からの供給データのうちの一方を選択し、上記演算パイプに入力させるセレクトと、

上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を隣接の演算ユニットに転送するストリームレジスタと、

を少なくとも有する

画像処理装置。

54. 上記演算ユニットは、上記クロスバー回路を通して供給されたデータを上記演算パイプに入力させ、当該演算パイプの演算結果を上記クロスバー回路に転送する第2のストリームレジスタを含む

請求項53記載の画像処理装置。

55. 上記複数の演算ユニットを含む演算ブロックを複数有し、

複数の演算ブロックの各々は、担当する演算処理が割り当てられて固定化されている

請求項53記載の画像処理装置。

56. 上記複数の演算ユニットを含む演算ブロックを複数有し、

複数の演算ブロックの各々は、担当する演算処理が割り当てられて固定化されている

請求項54記載の画像処理装置。

FIG.1

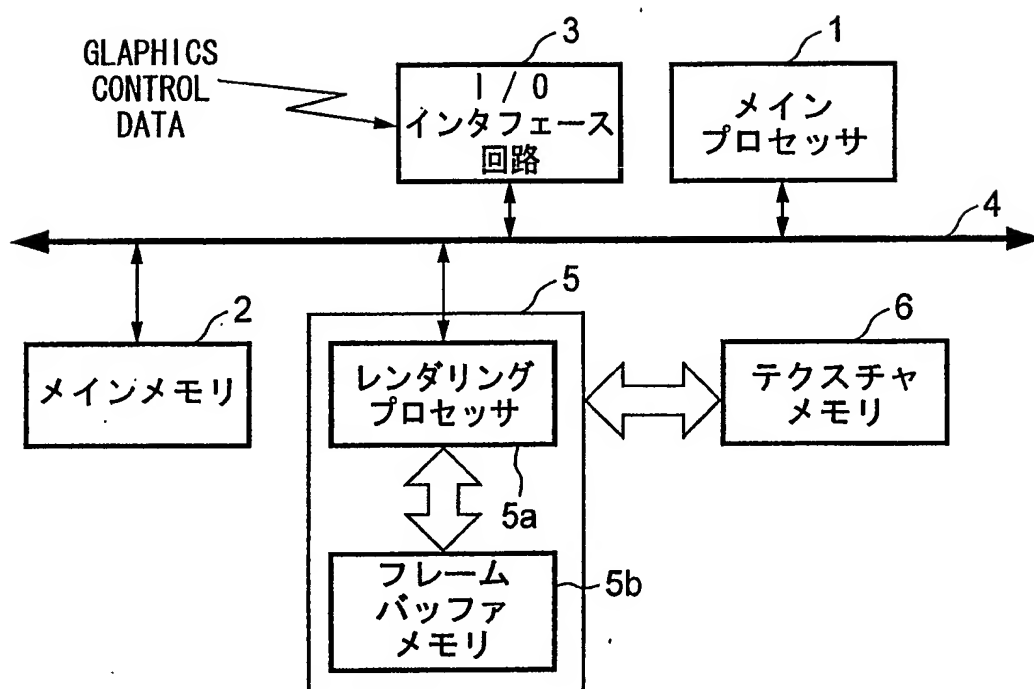


FIG.2

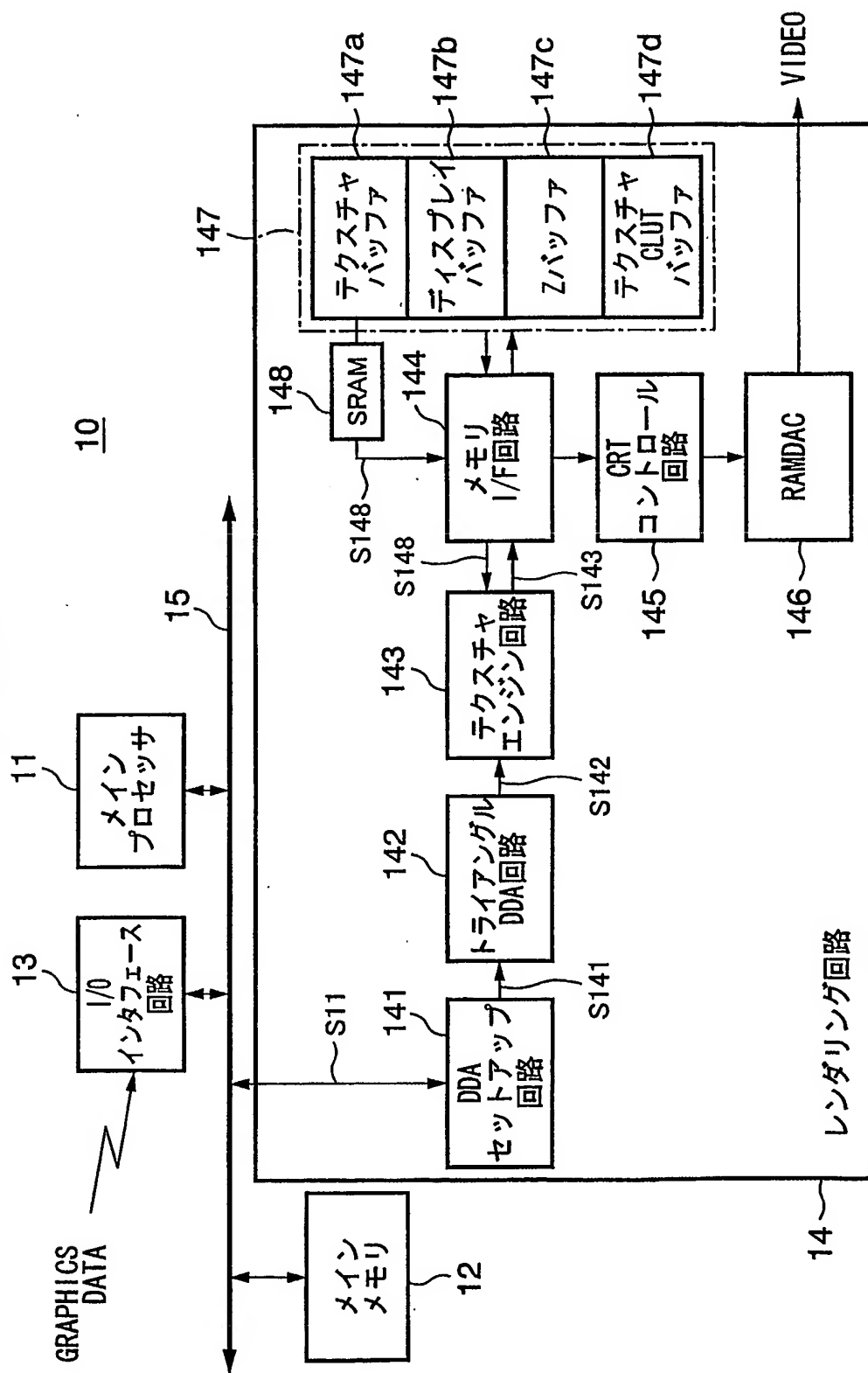


FIG.3

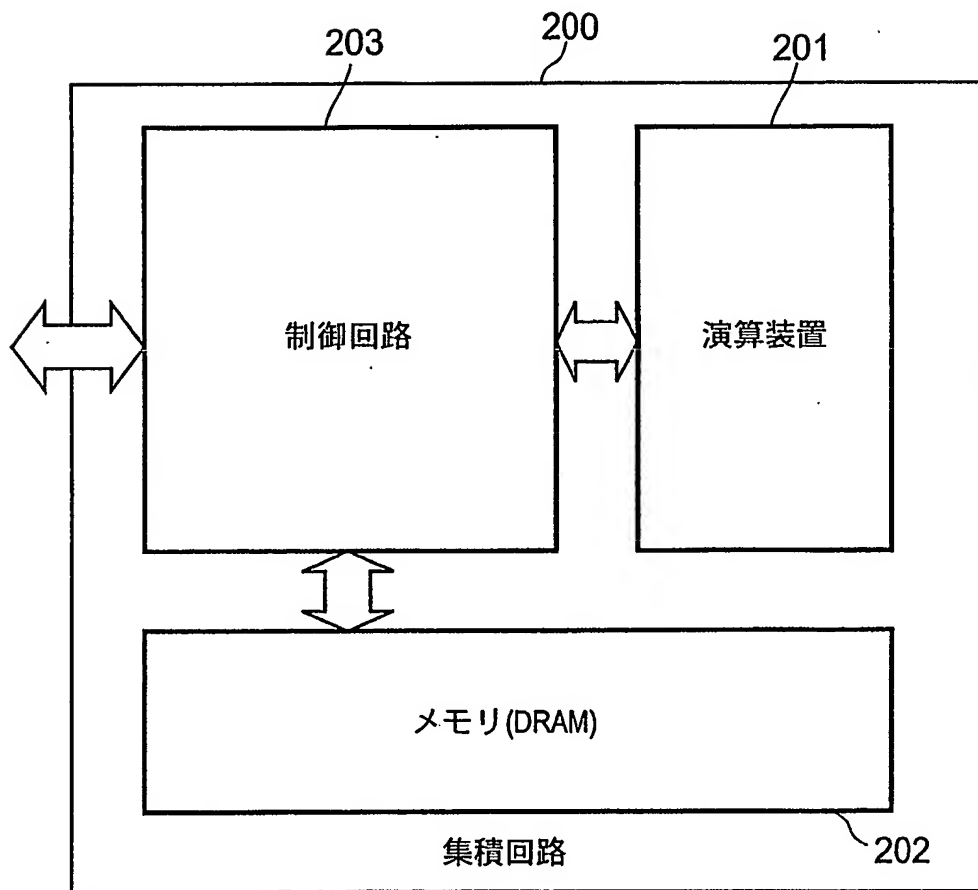


FIG. 4

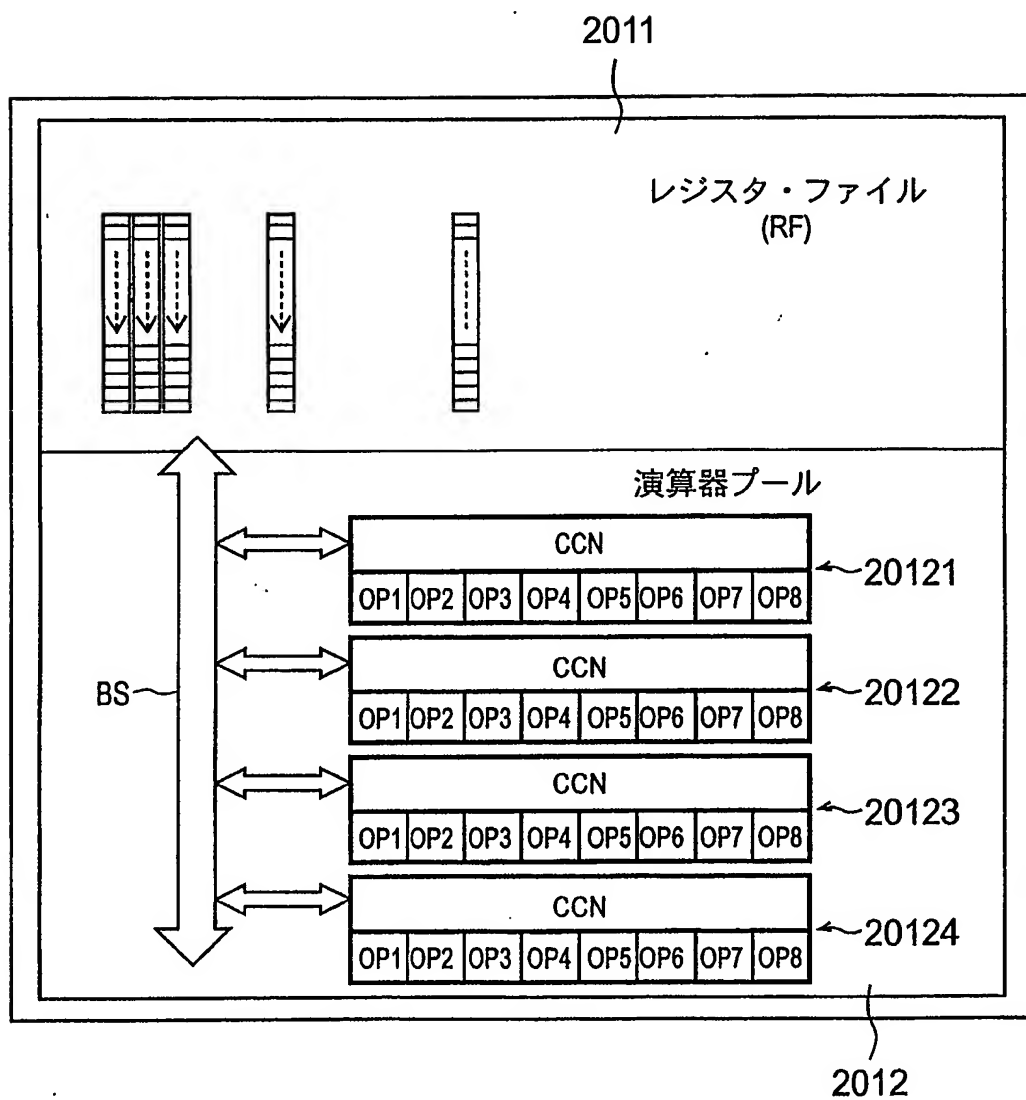


FIG.5

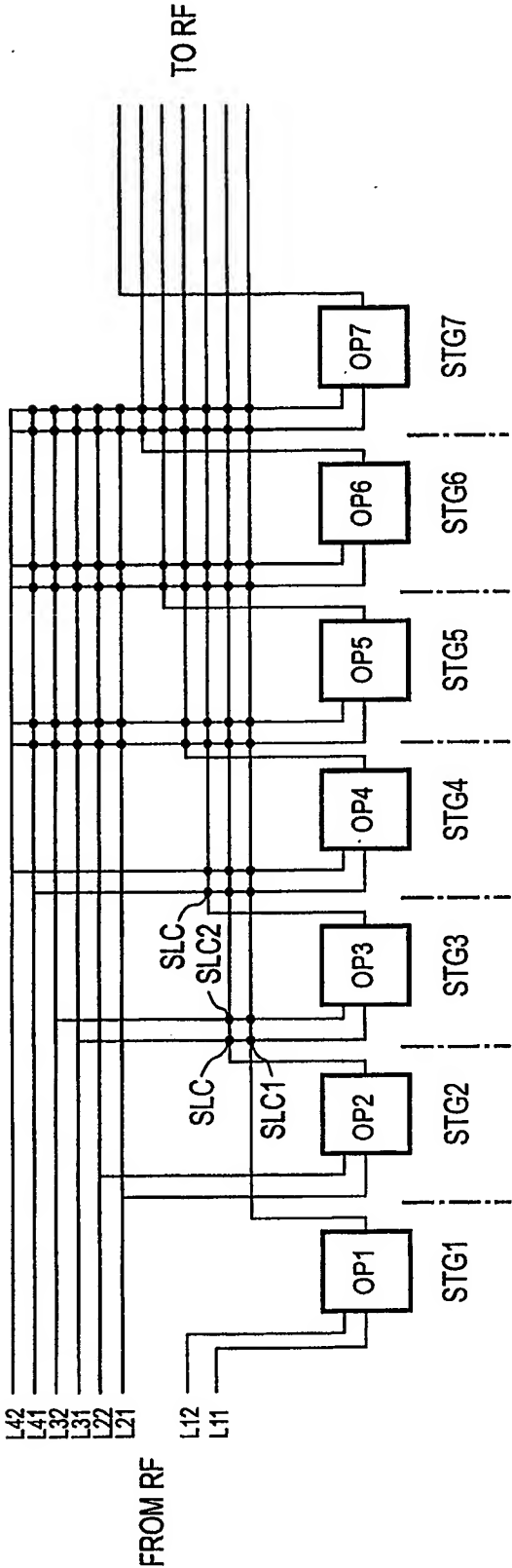


FIG.6

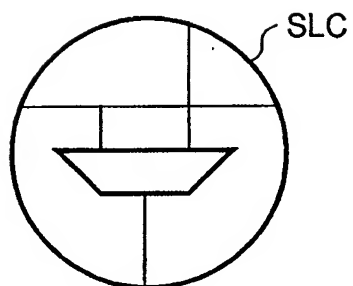


FIG. 7

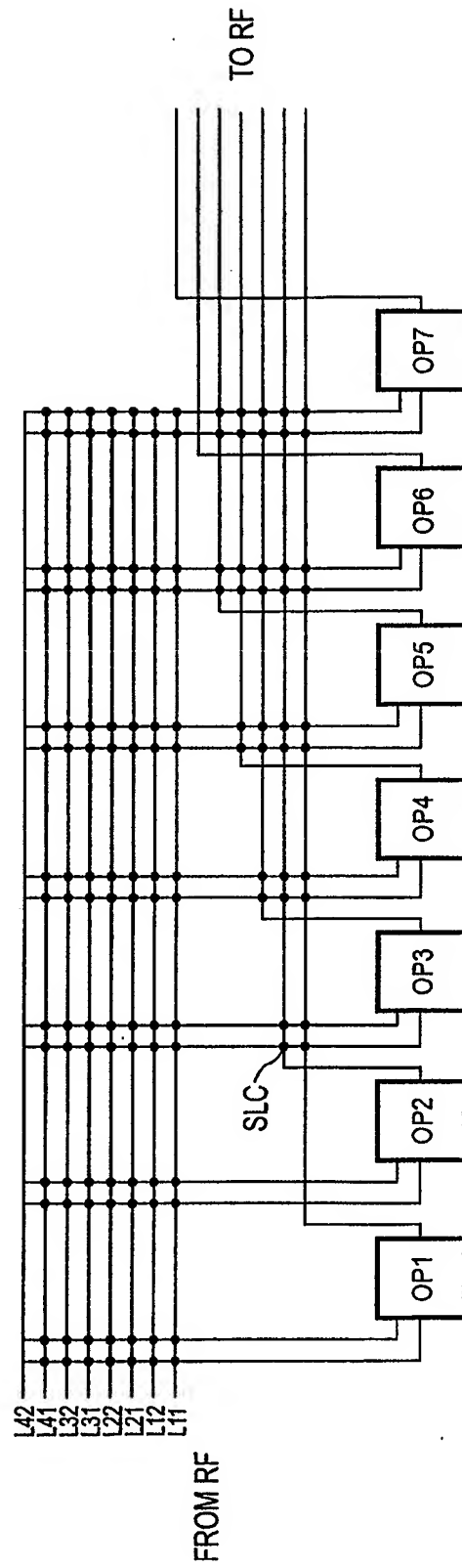


FIG. 8

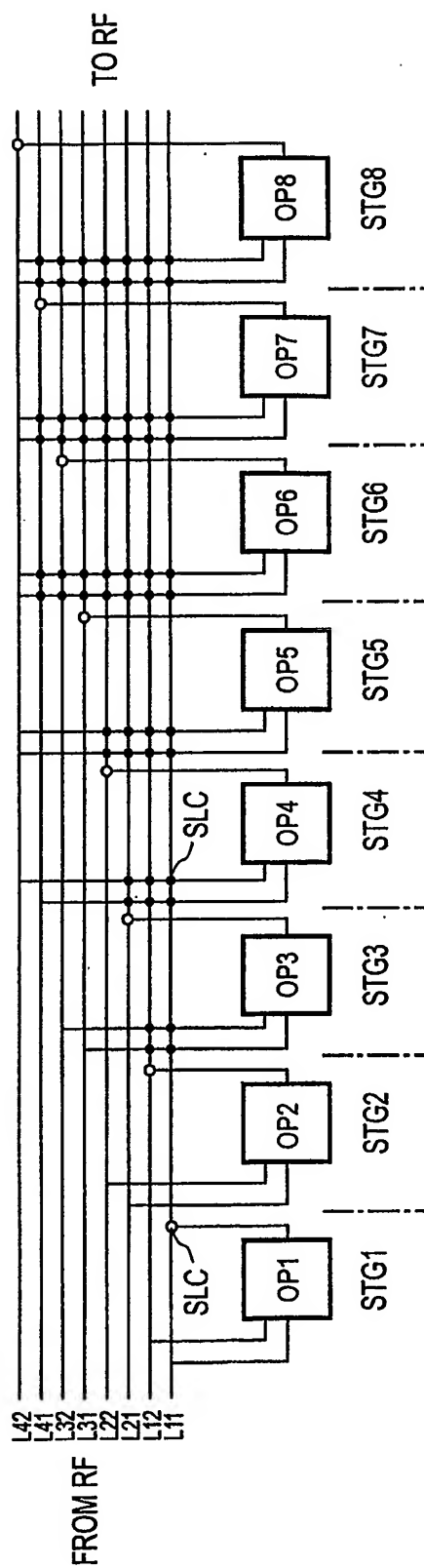


FIG.9

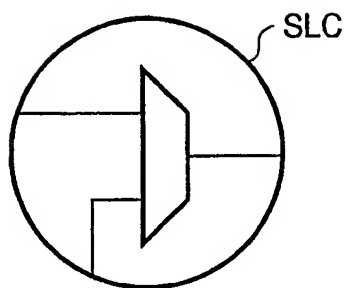


FIG.10

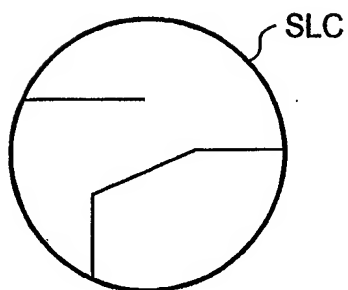


FIG.11

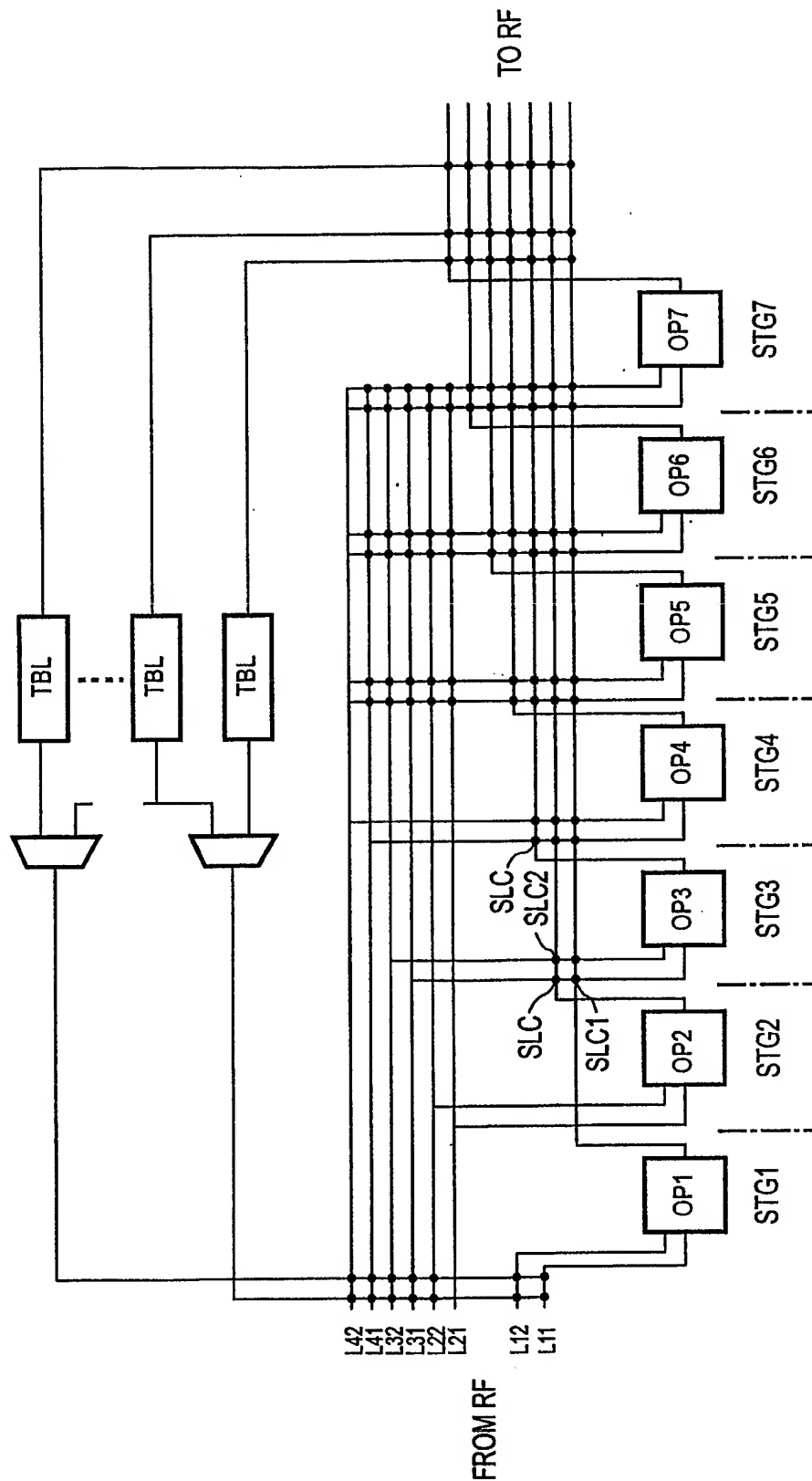


FIG.12

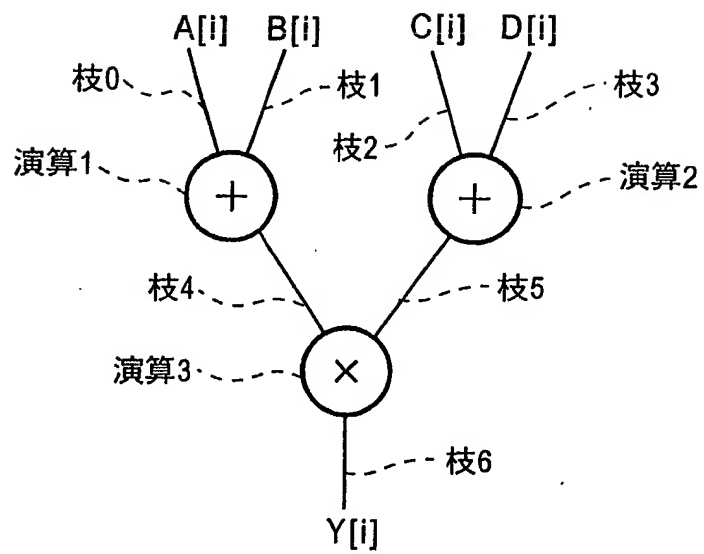


FIG.13

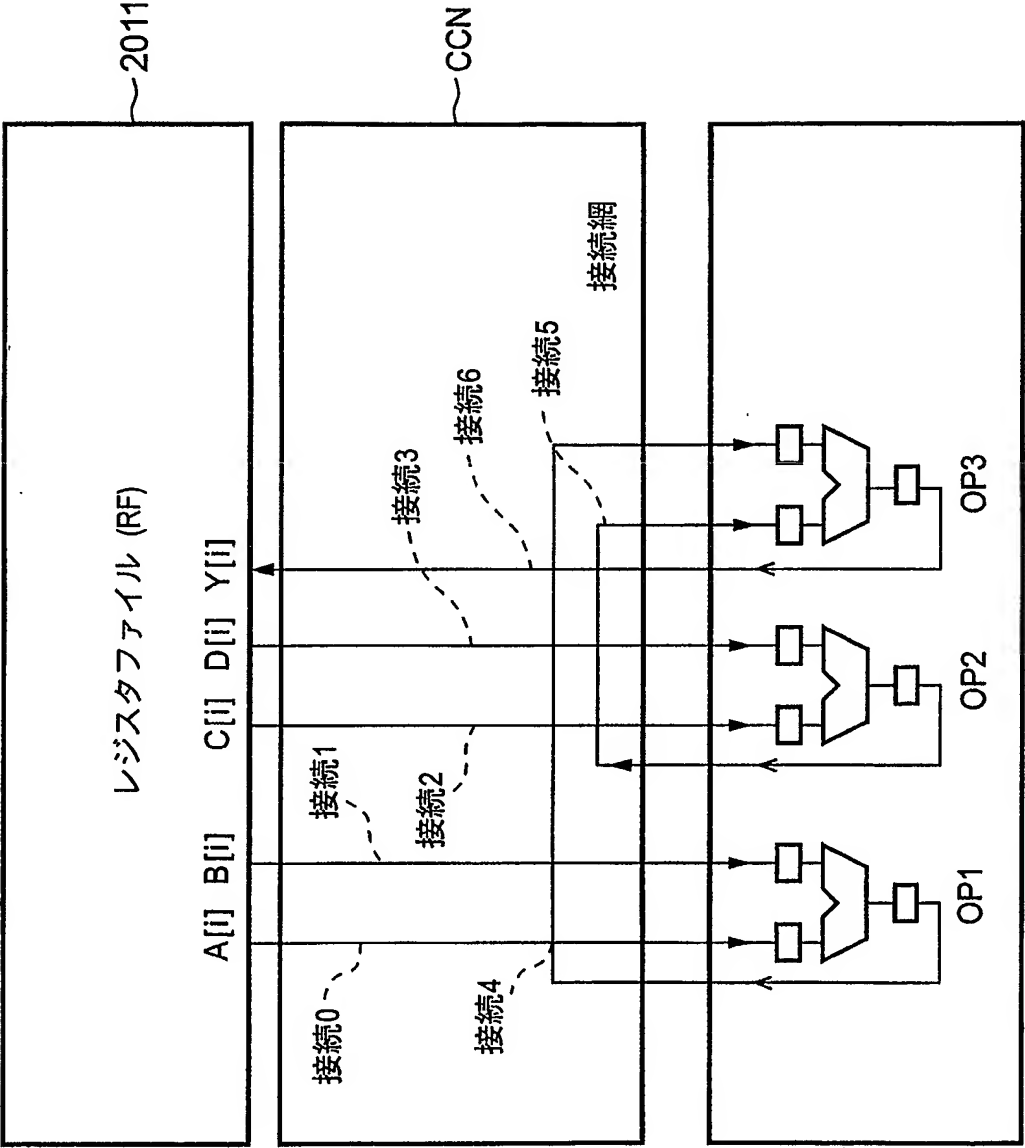


FIG.14

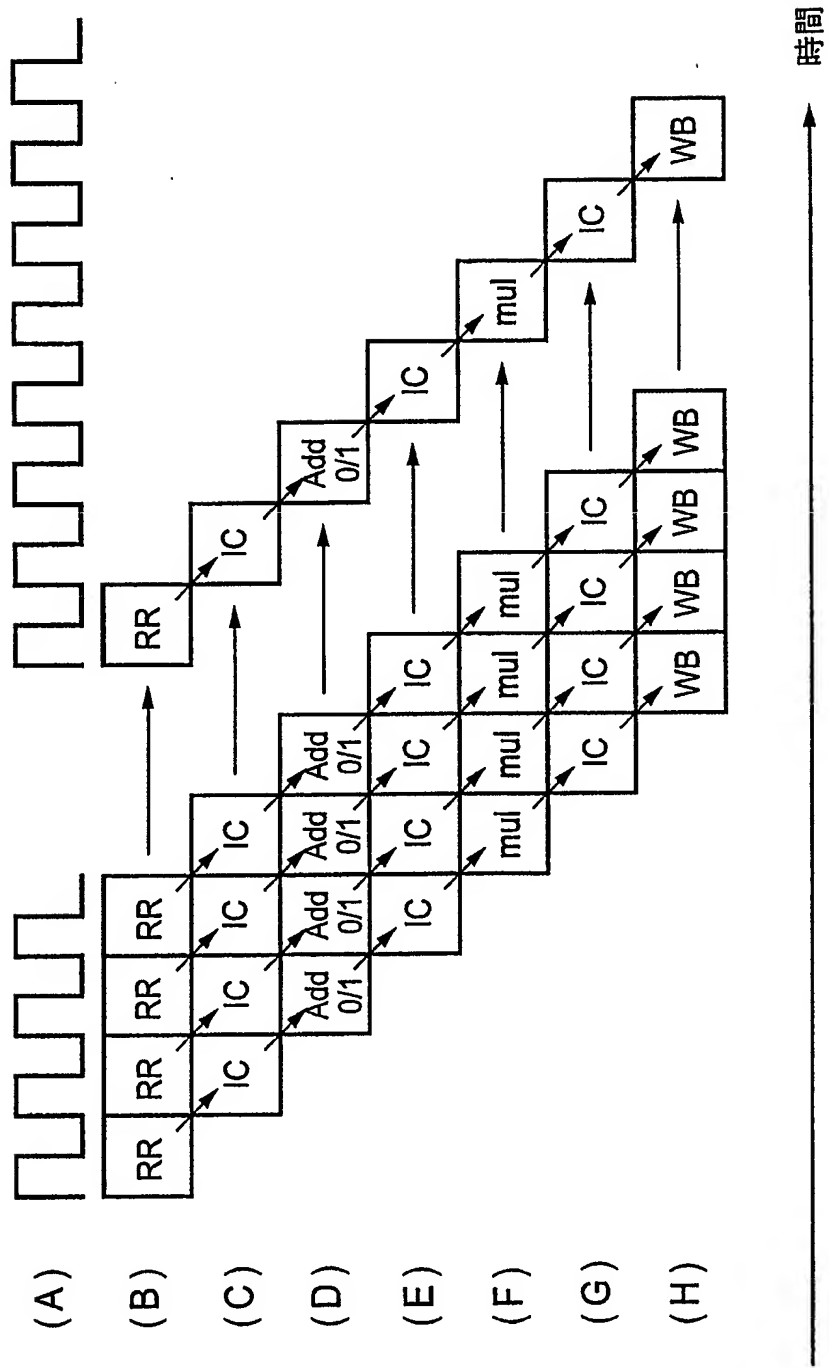


FIG.15

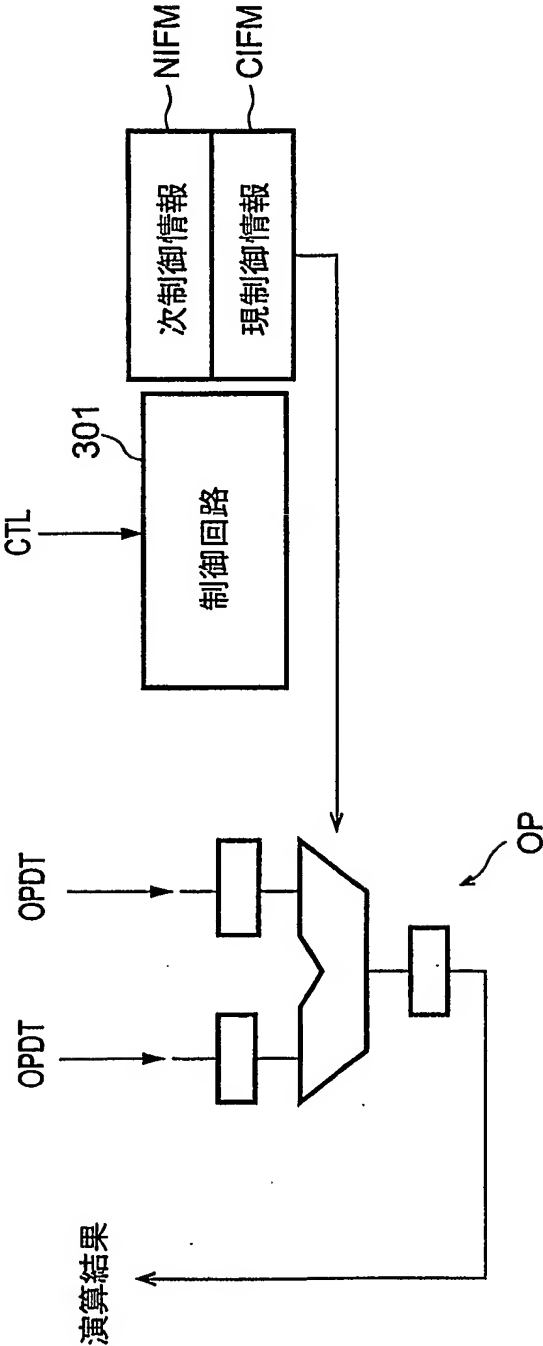


FIG.16

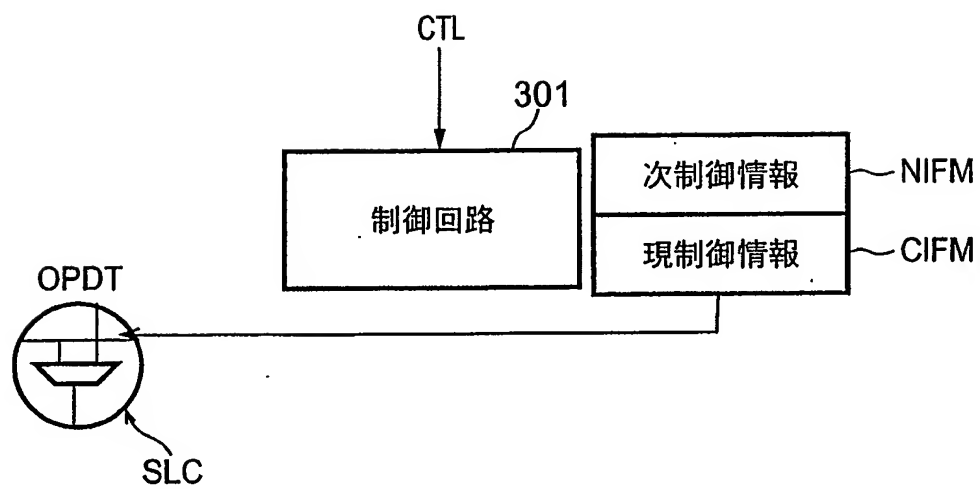


FIG.17

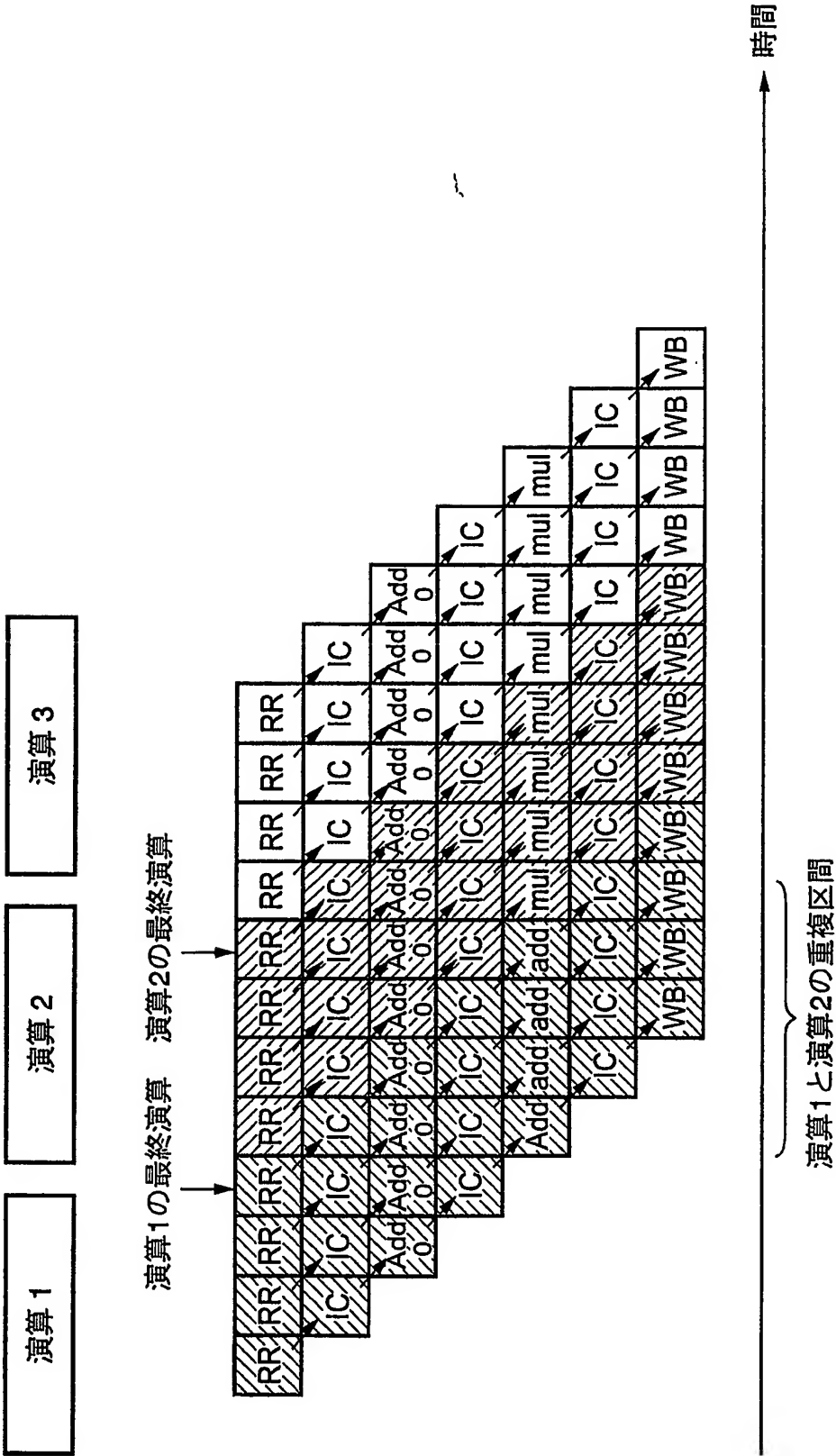


FIG.18

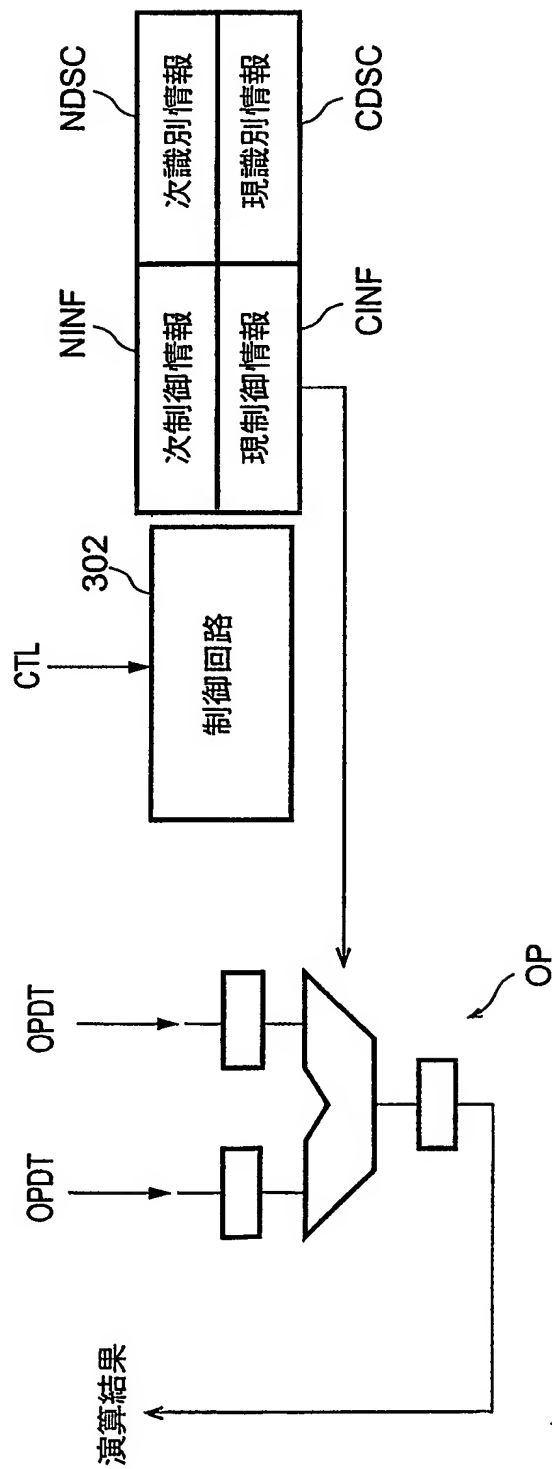


FIG.19

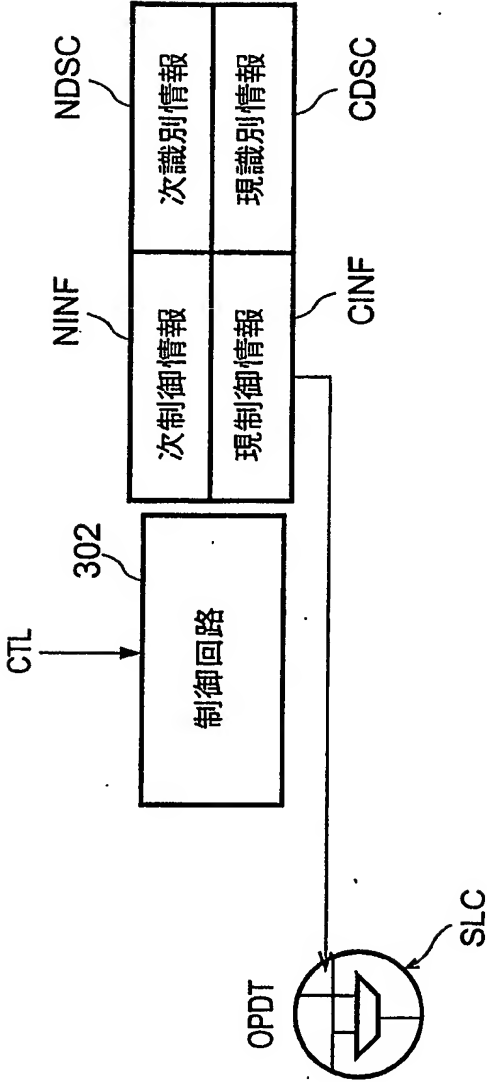


FIG.20

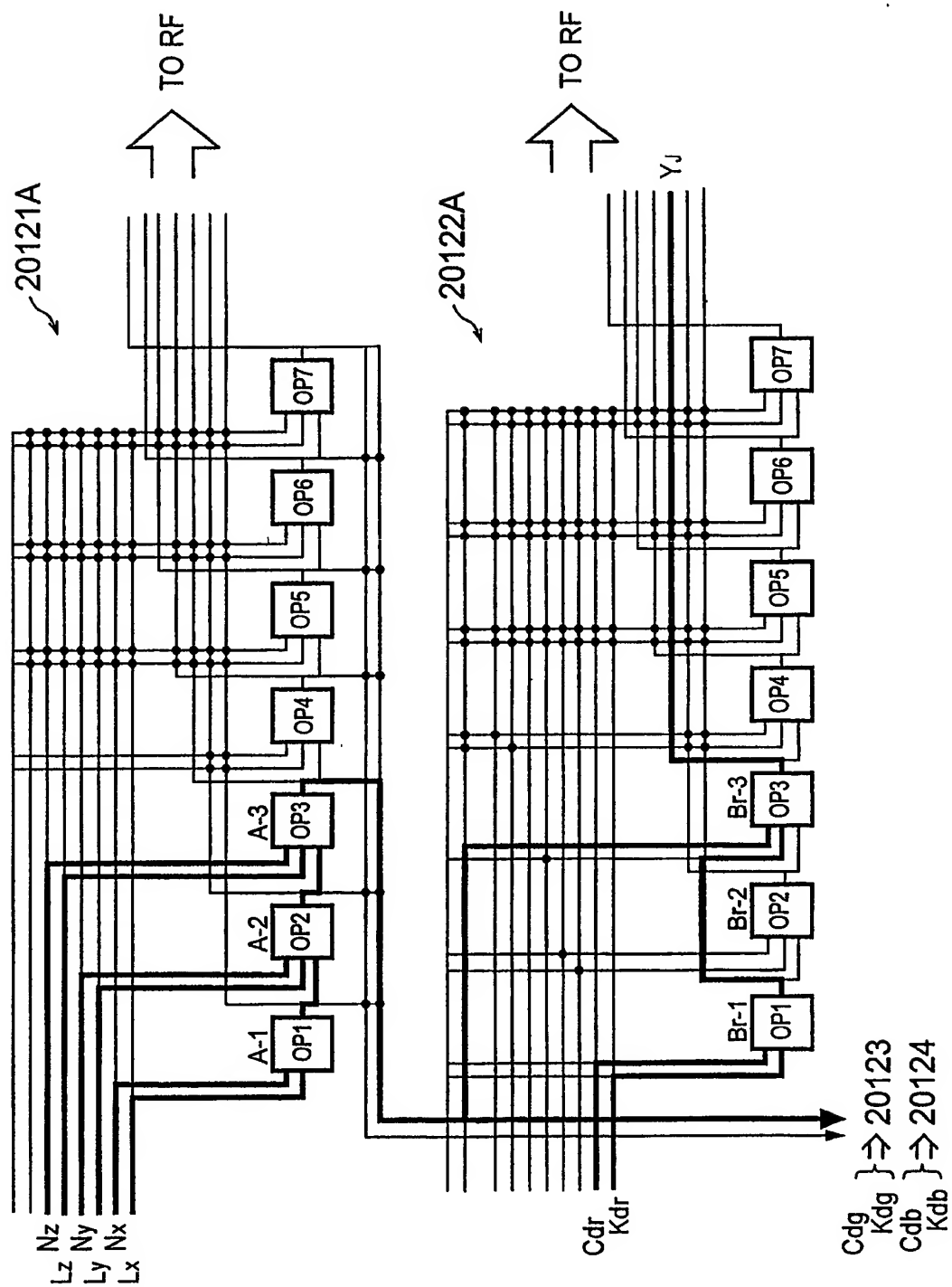


FIG.21

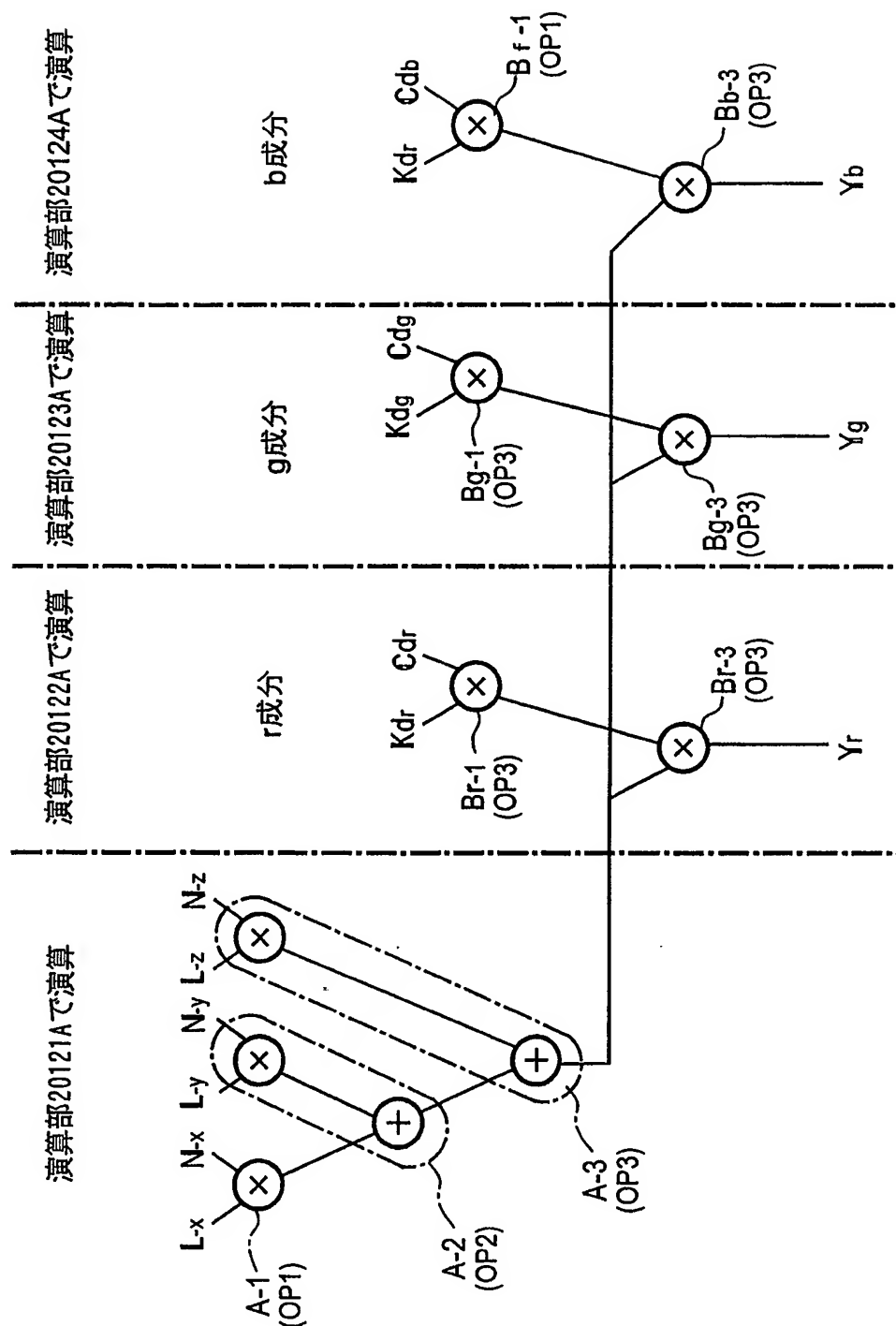


FIG.22

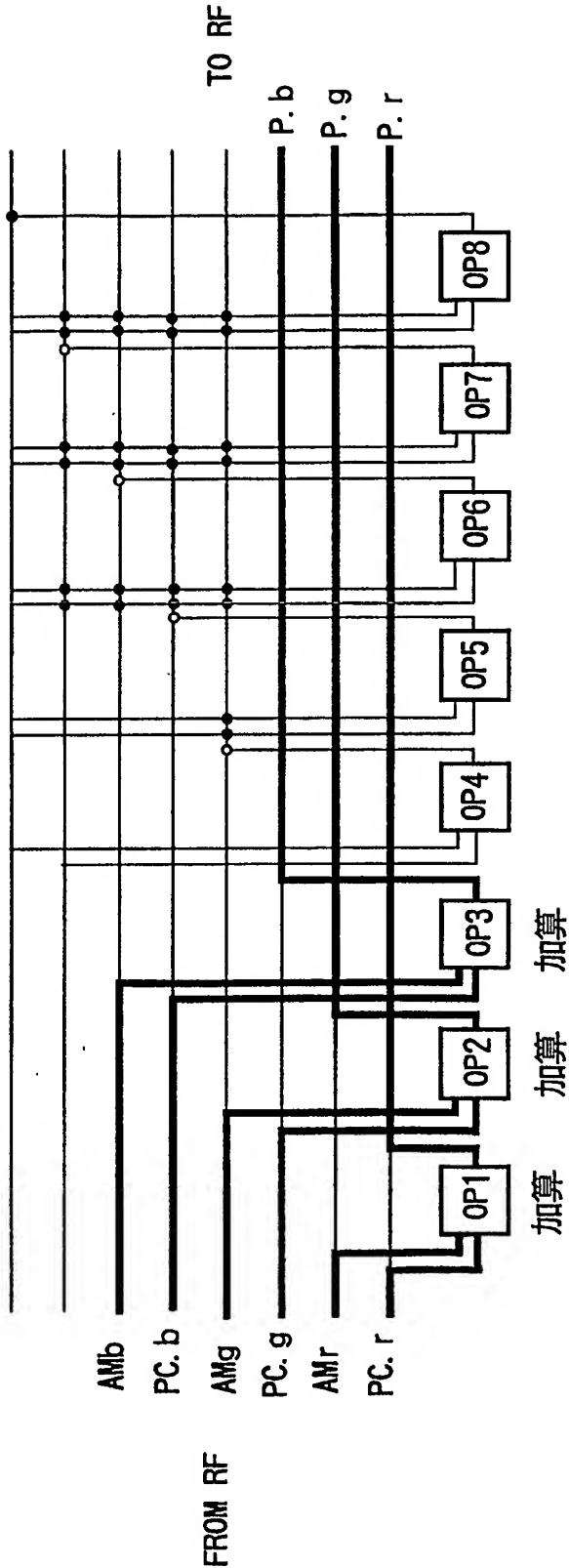


FIG.23

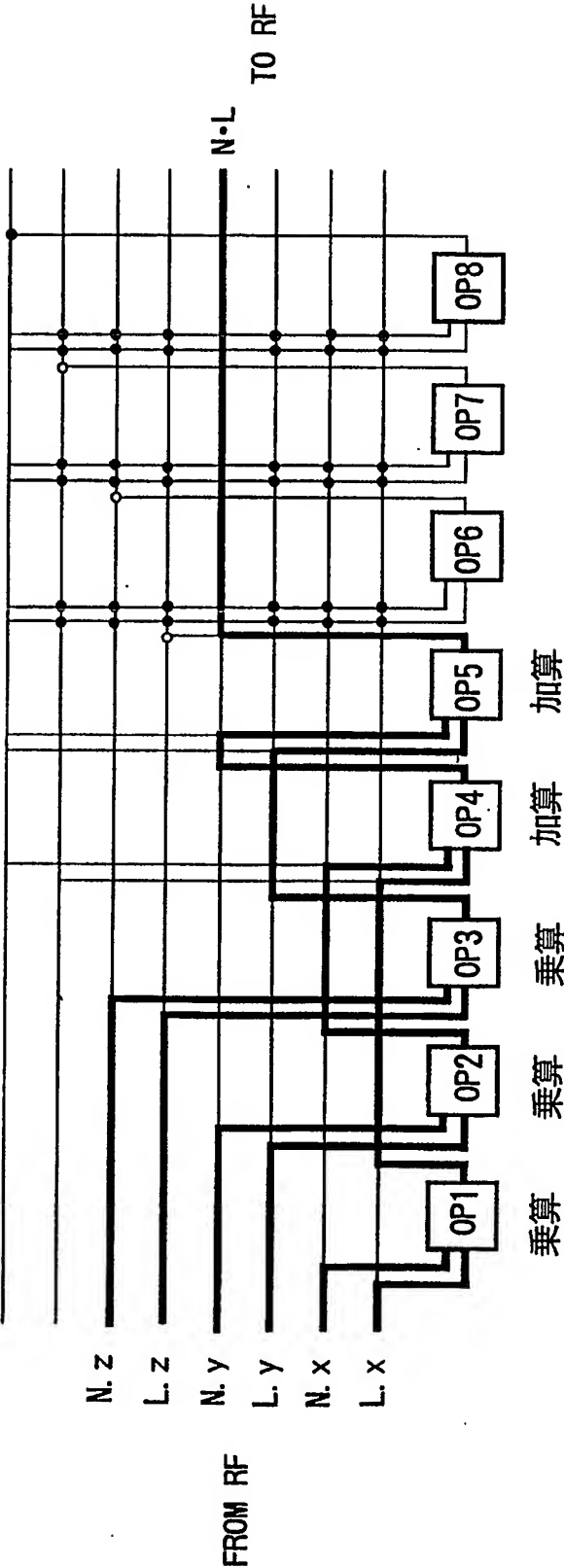


FIG.24

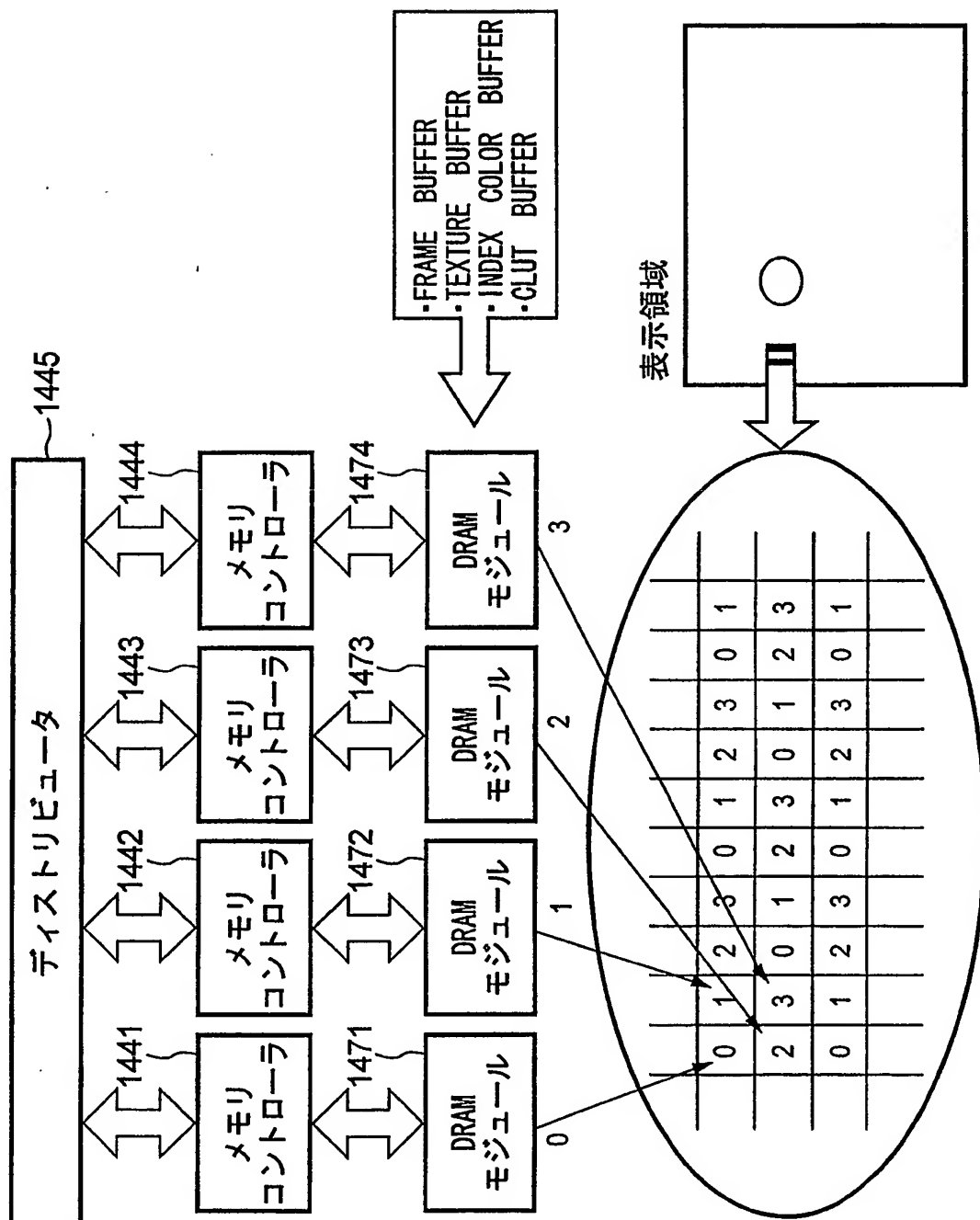


FIG.25

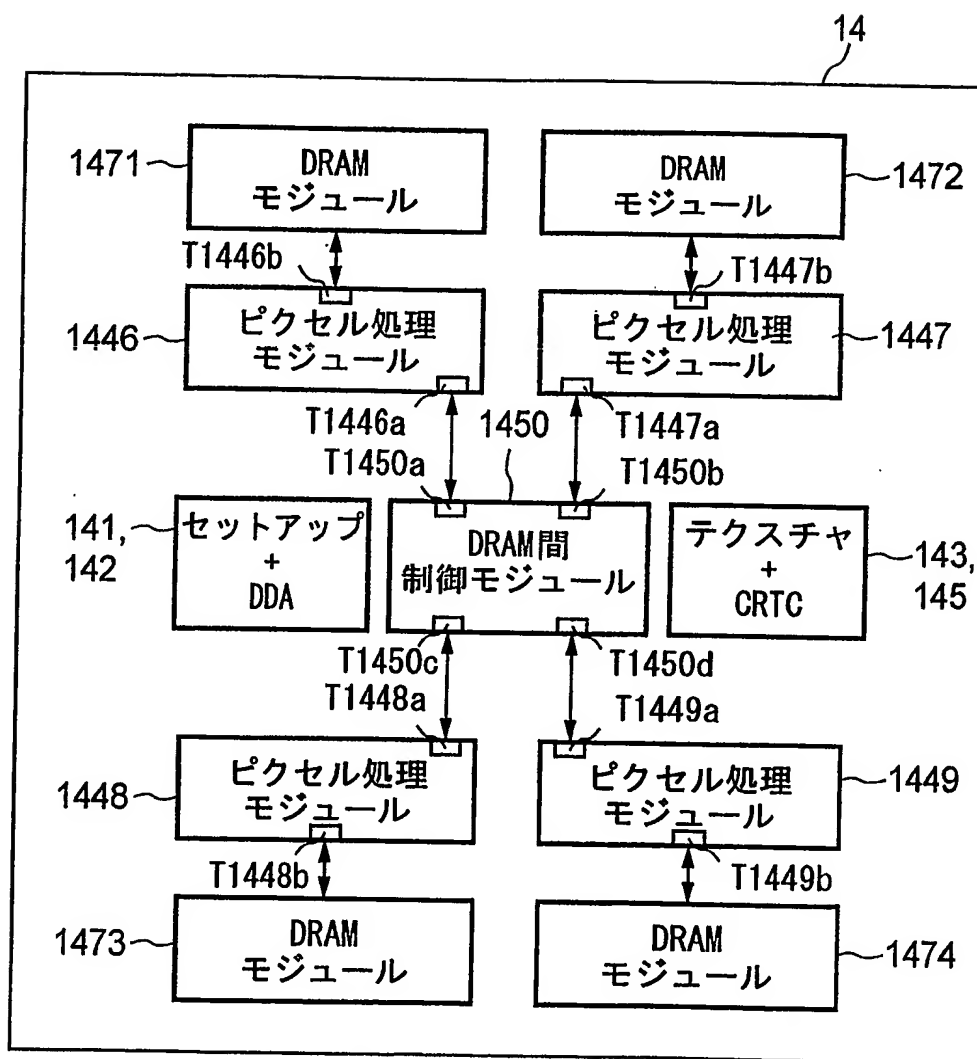


FIG.26

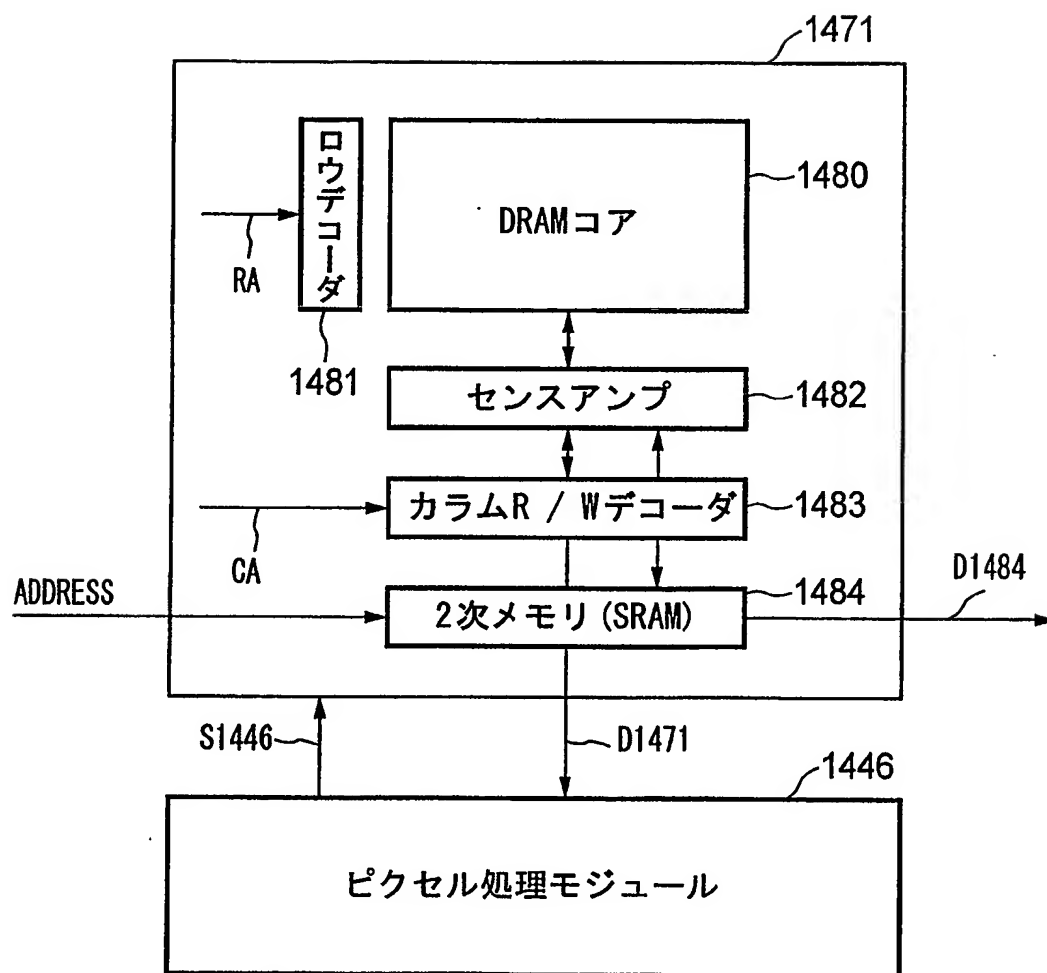
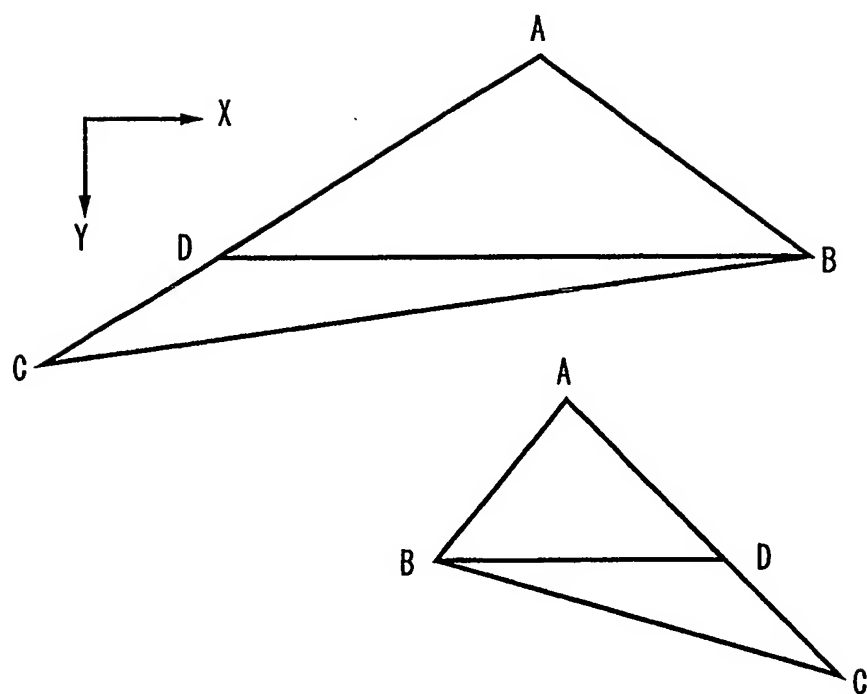


FIG.27



Y方向に最も伸びた辺を
AC辺とする

FIG.28

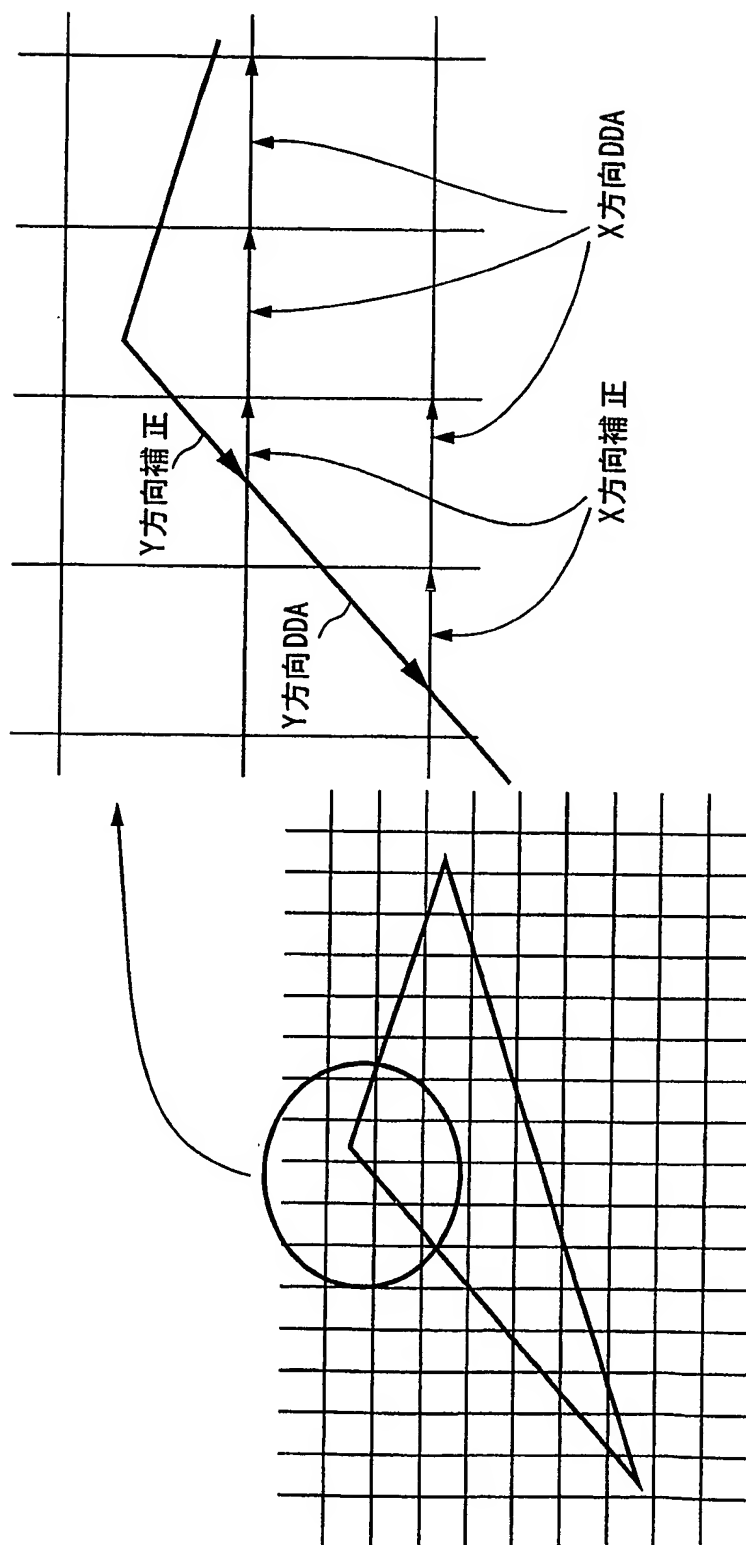


FIG.29

三角形は3つの形態に分類できる

最上位の頂点がひとつで
連続する辺が左側

上の辺が水平
(左の辺をBASEとする)

最上位の頂点がひとつで
連続する辺が右側

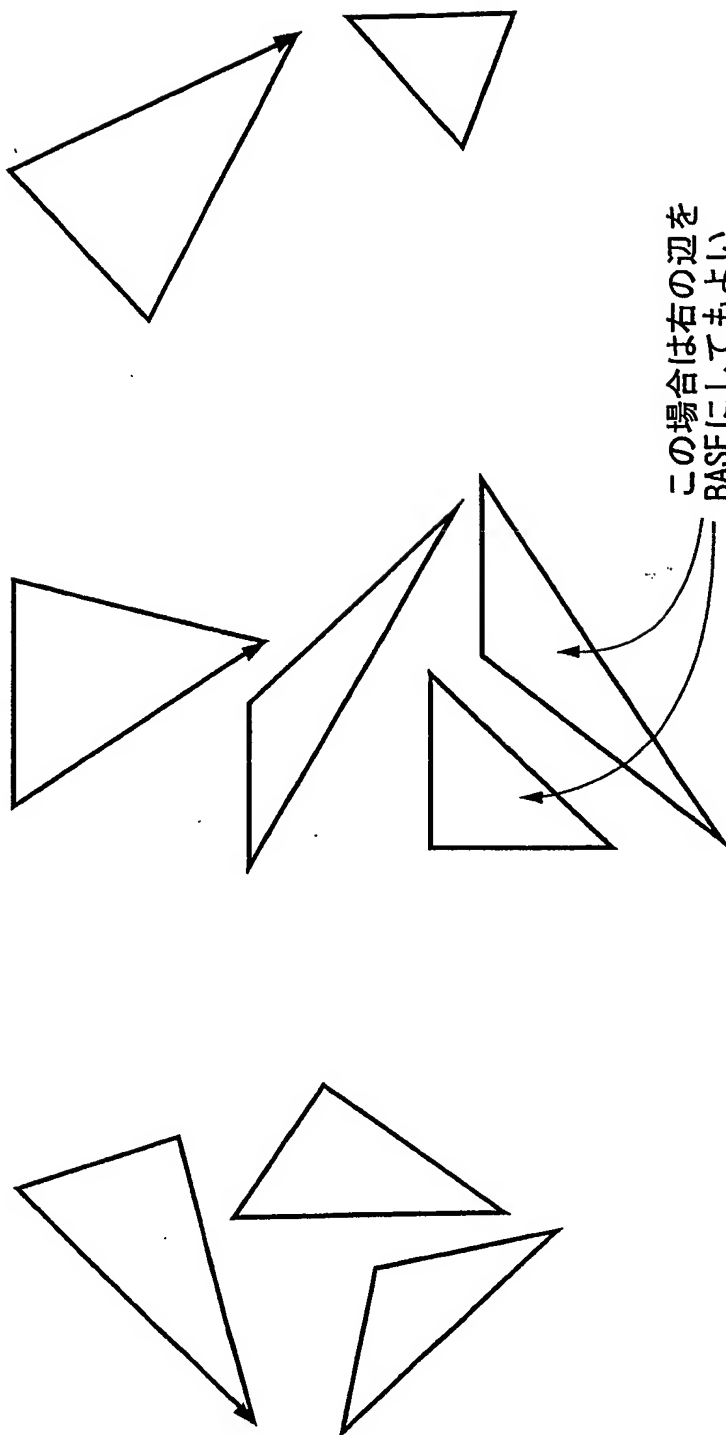


FIG.30

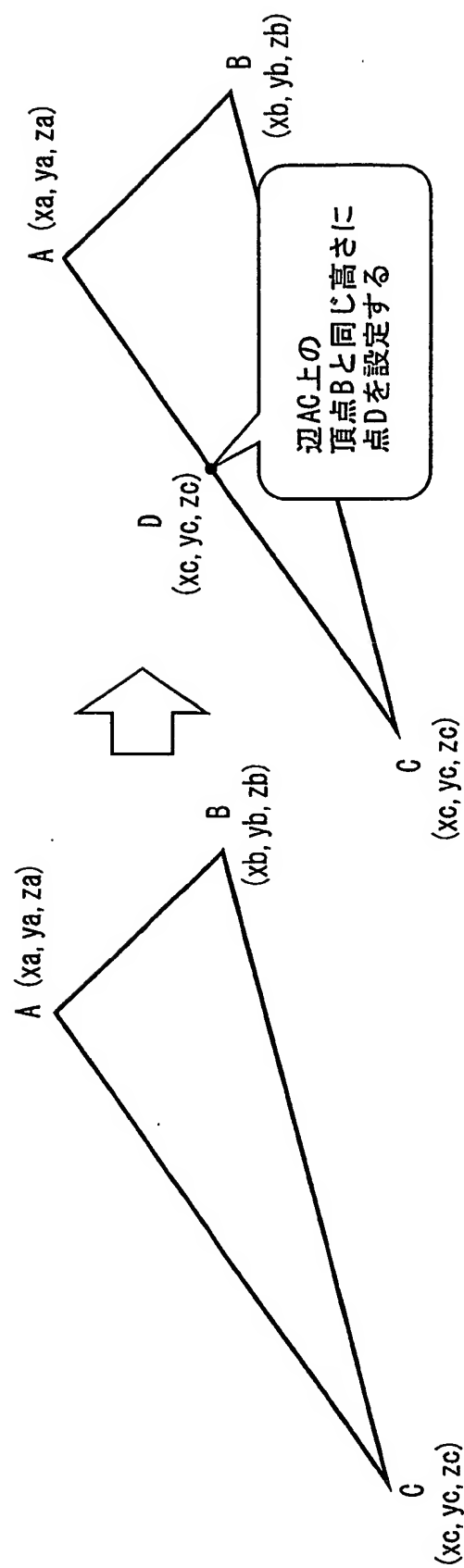


FIG.31A

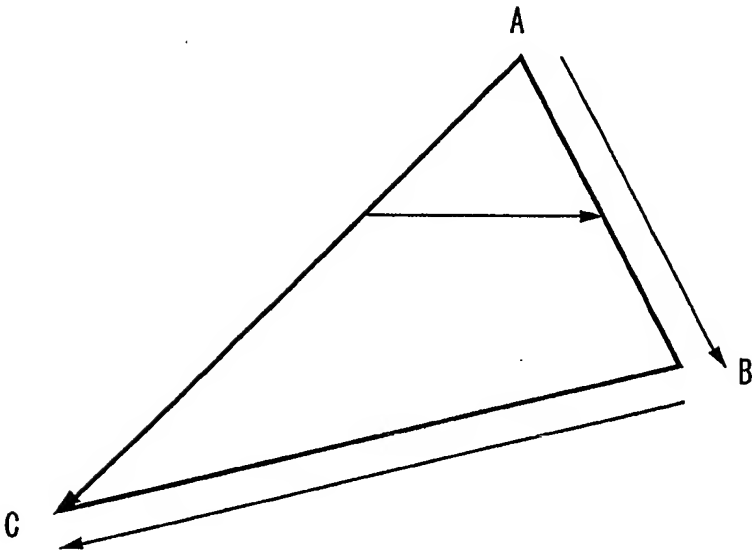


FIG.31B

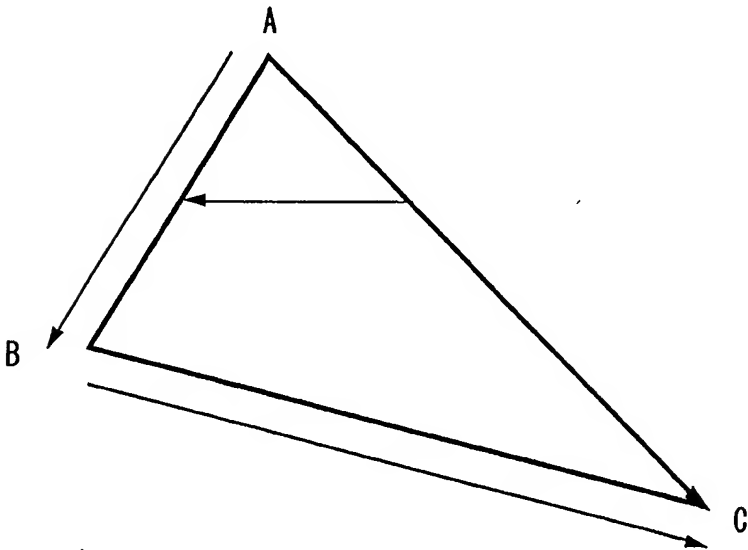


FIG.32

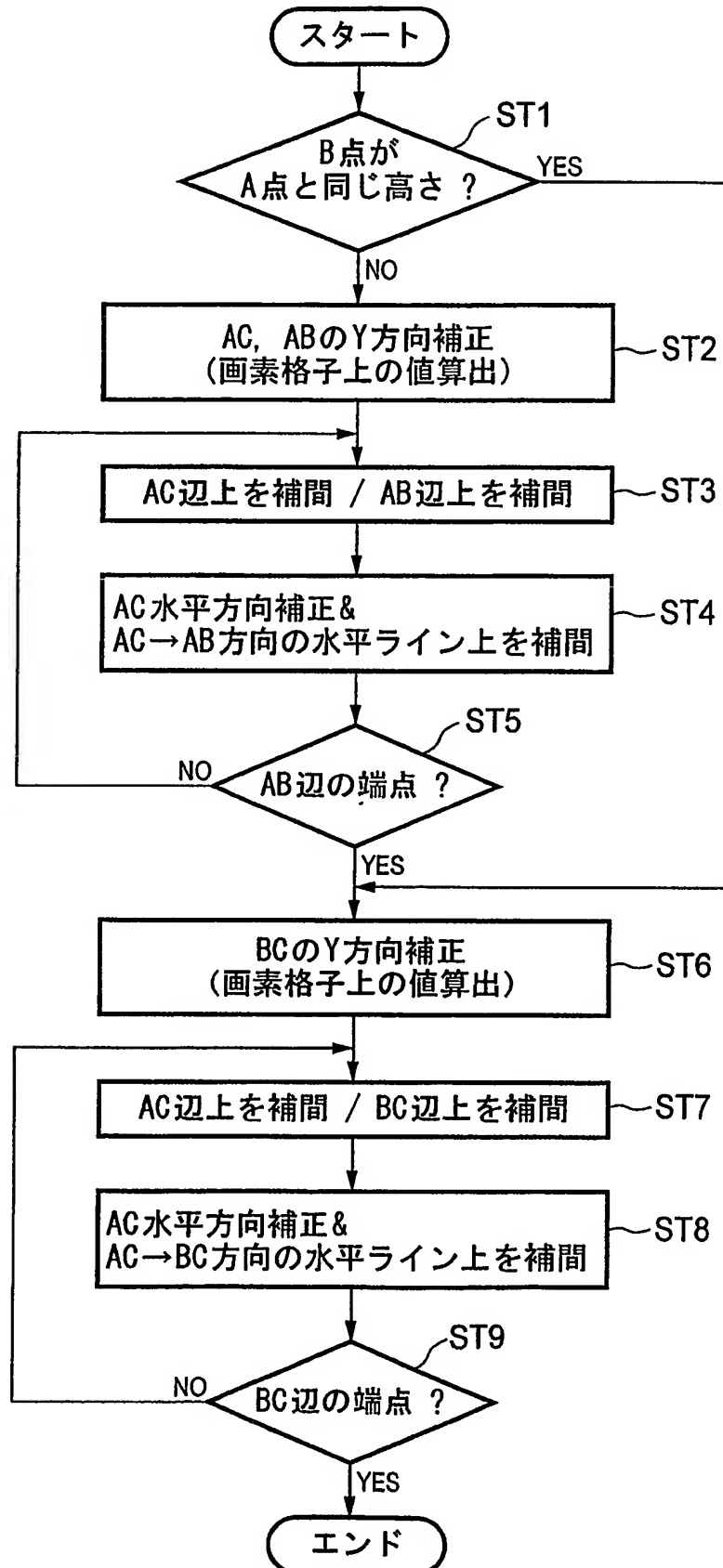


FIG.33

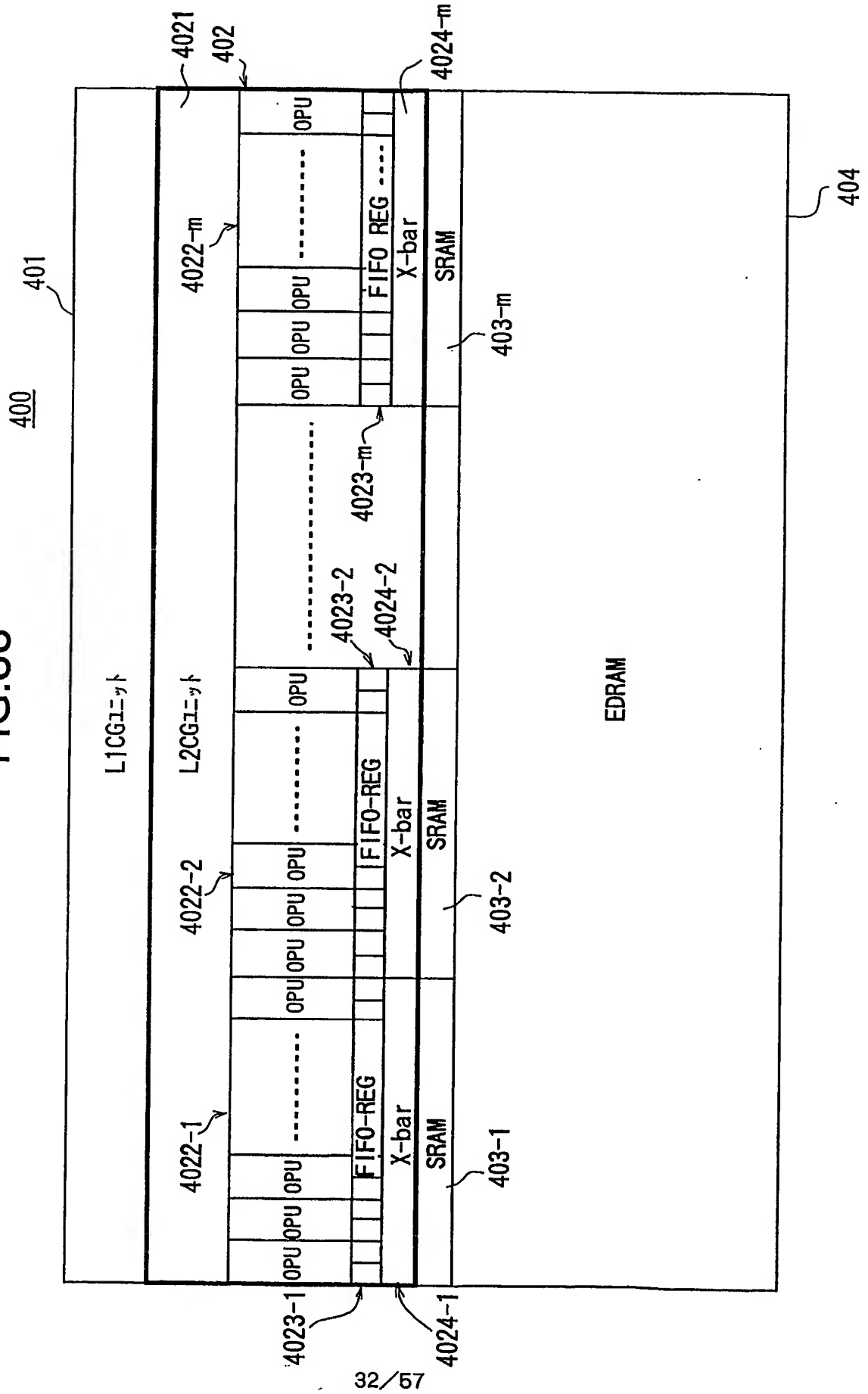


FIG.35

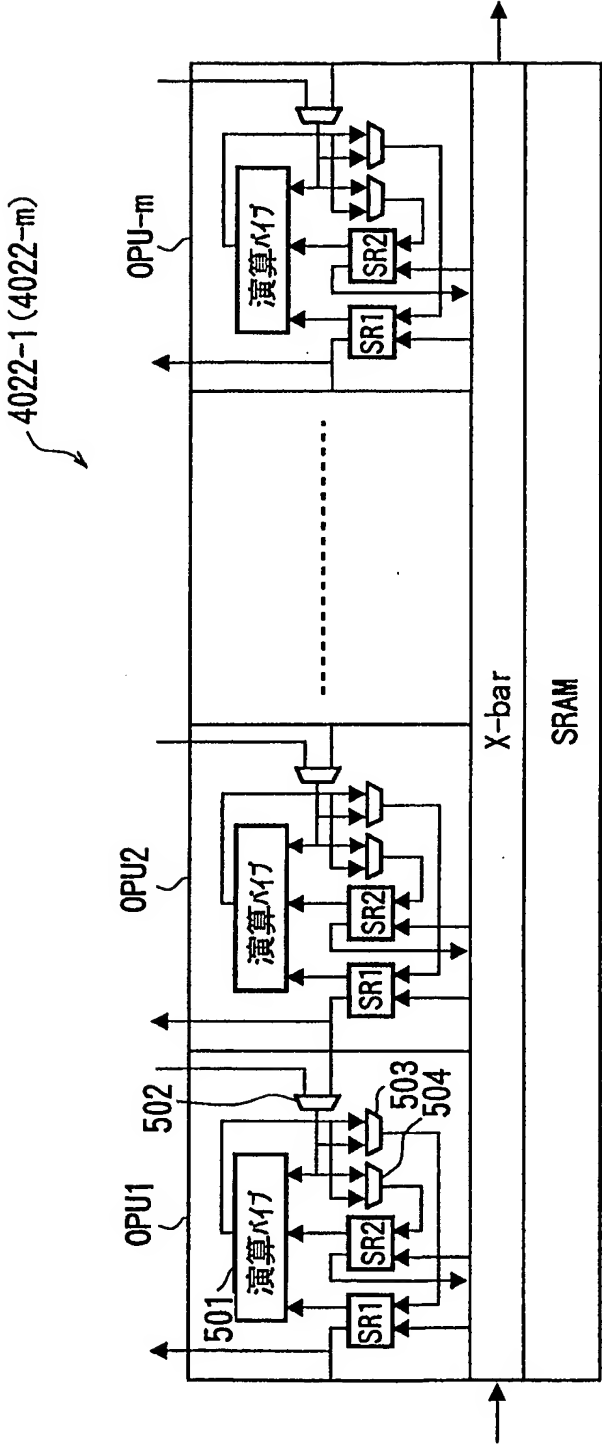


FIG.36

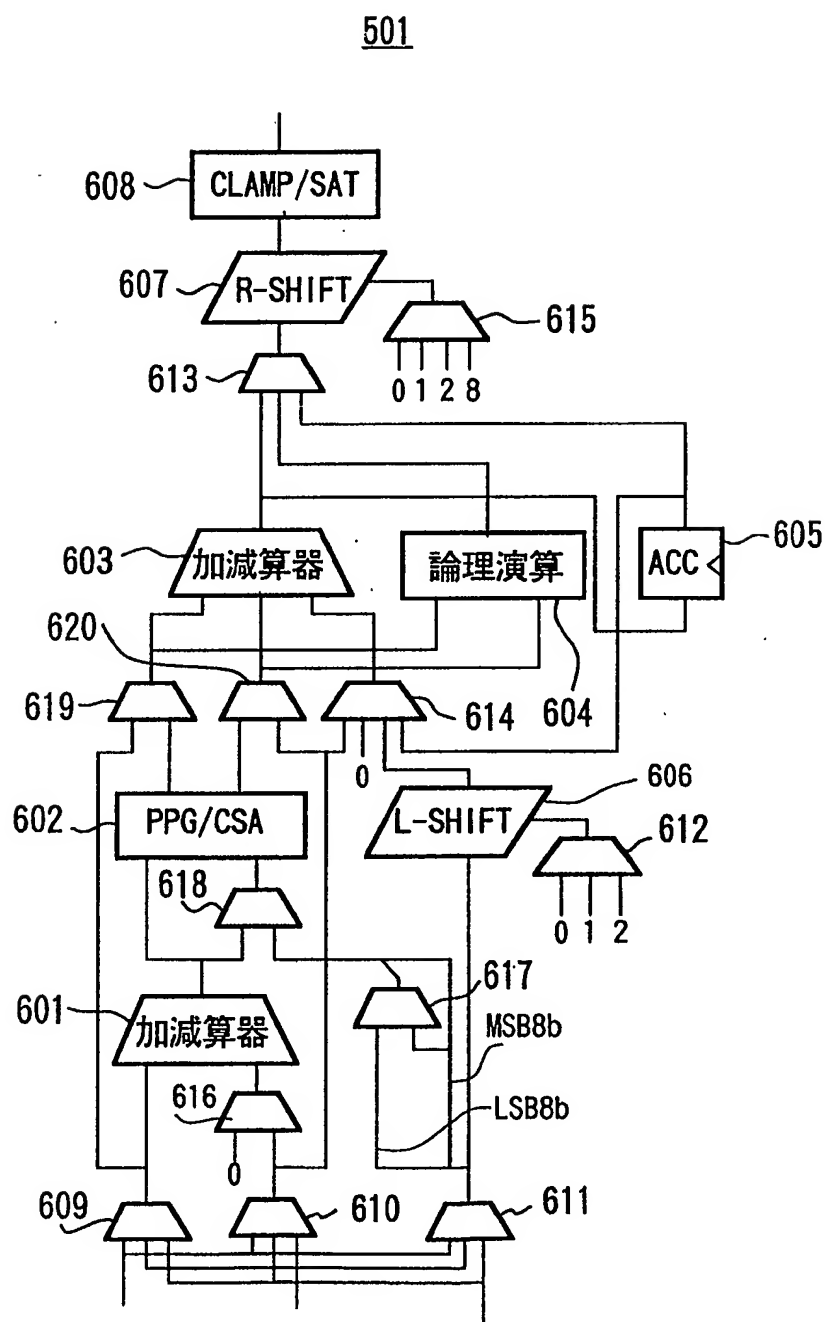


FIG.37

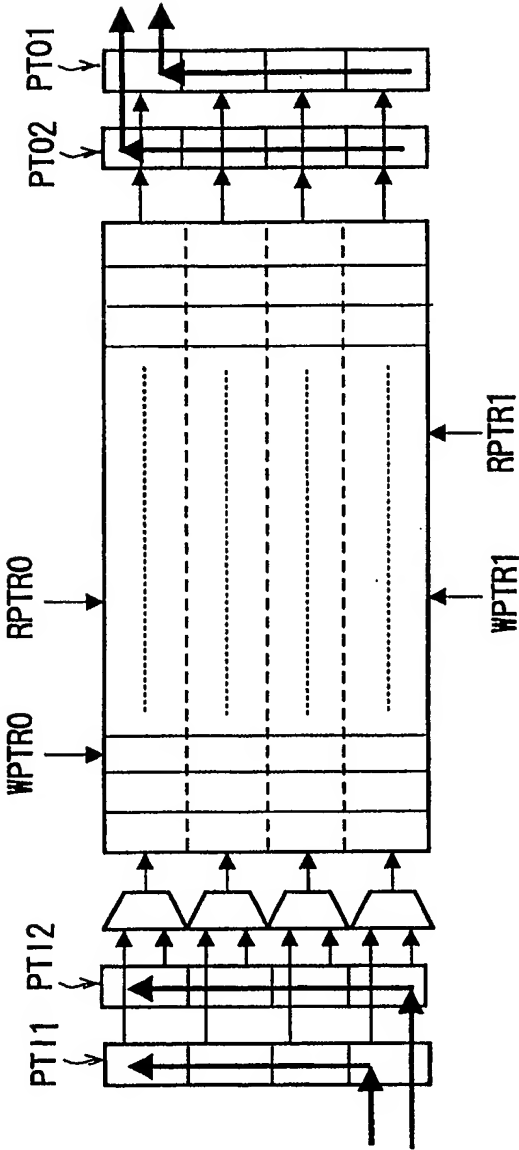


FIG.38B

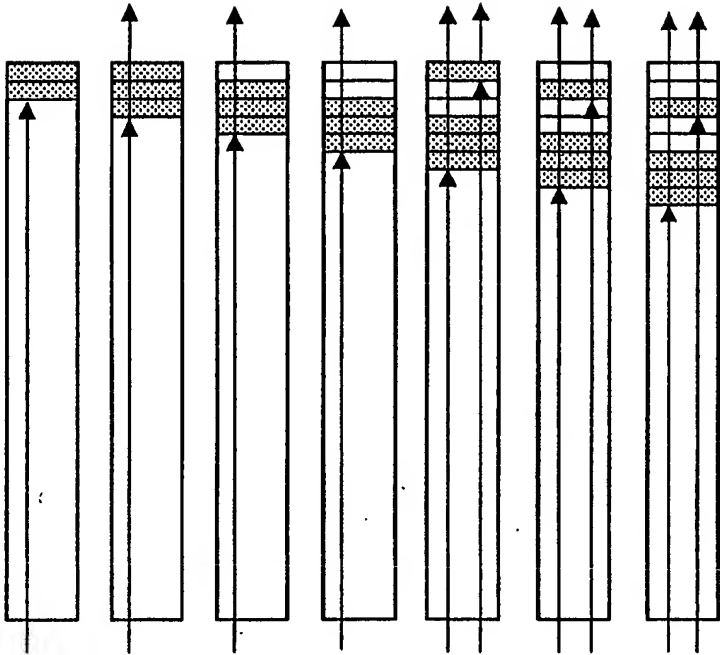


FIG.38A

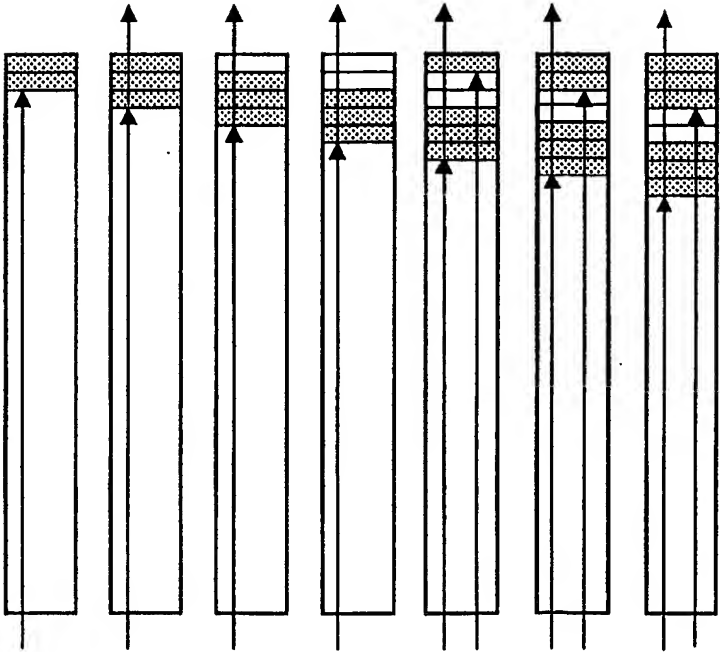


FIG. 39

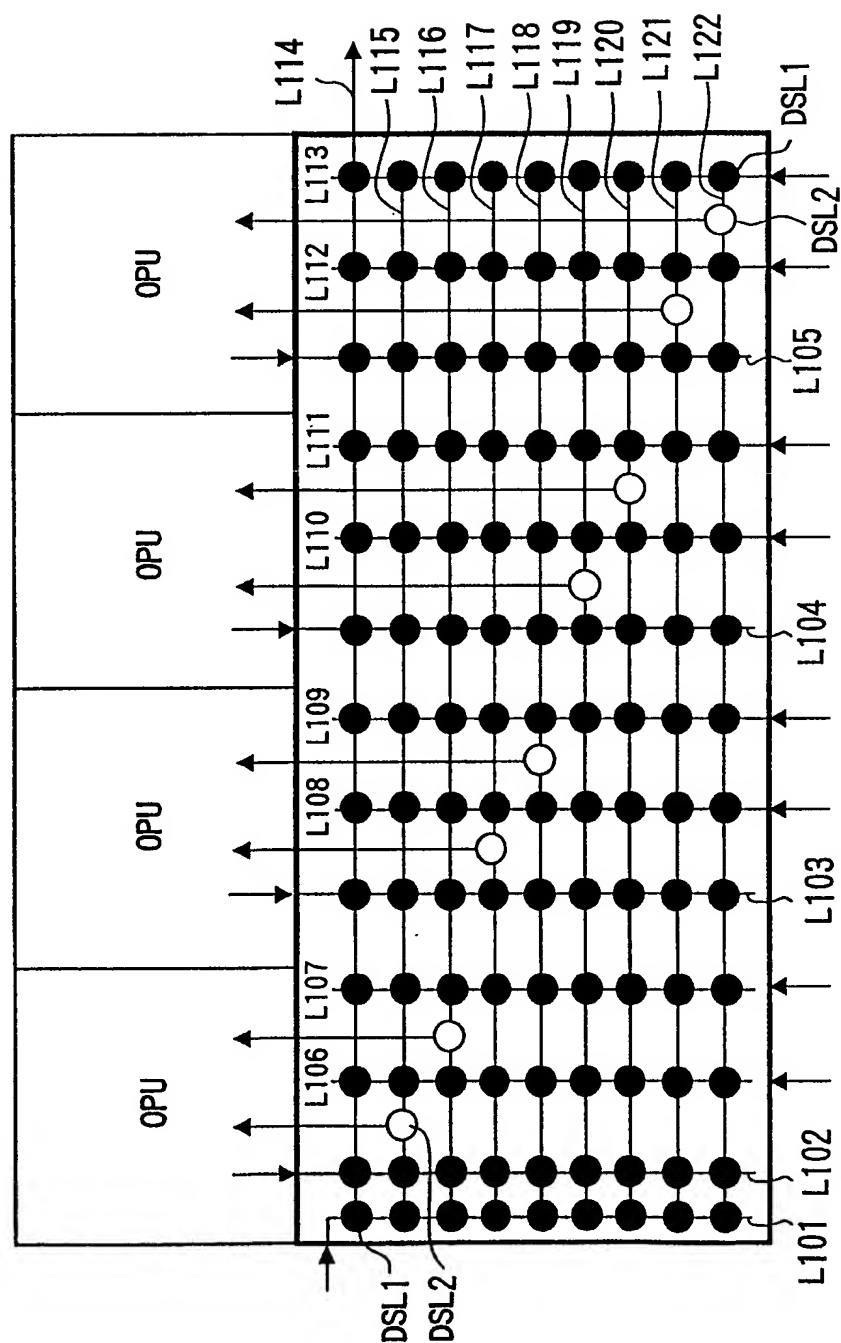


FIG.40

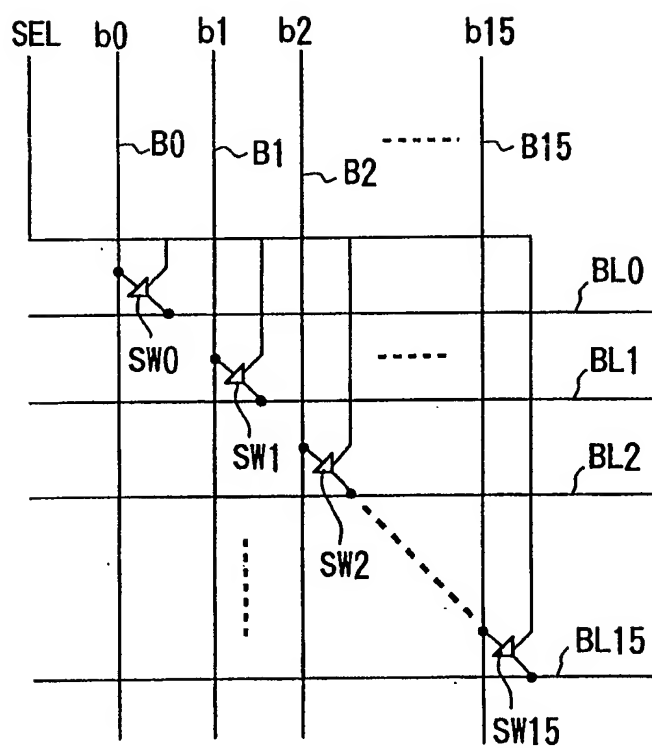


FIG.41

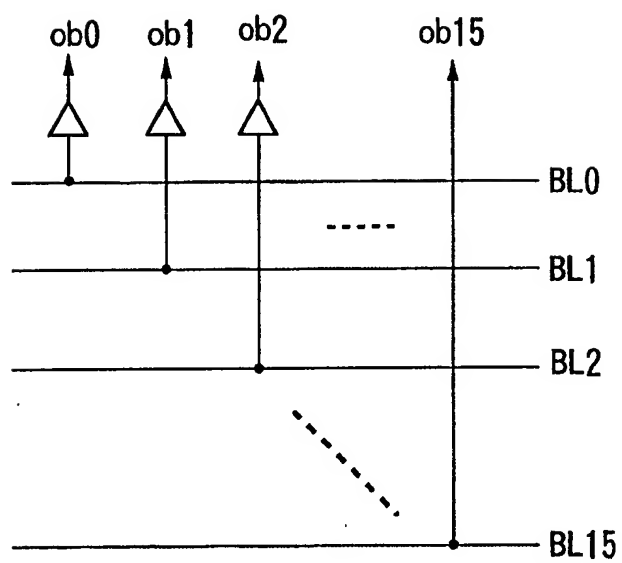


FIG.42

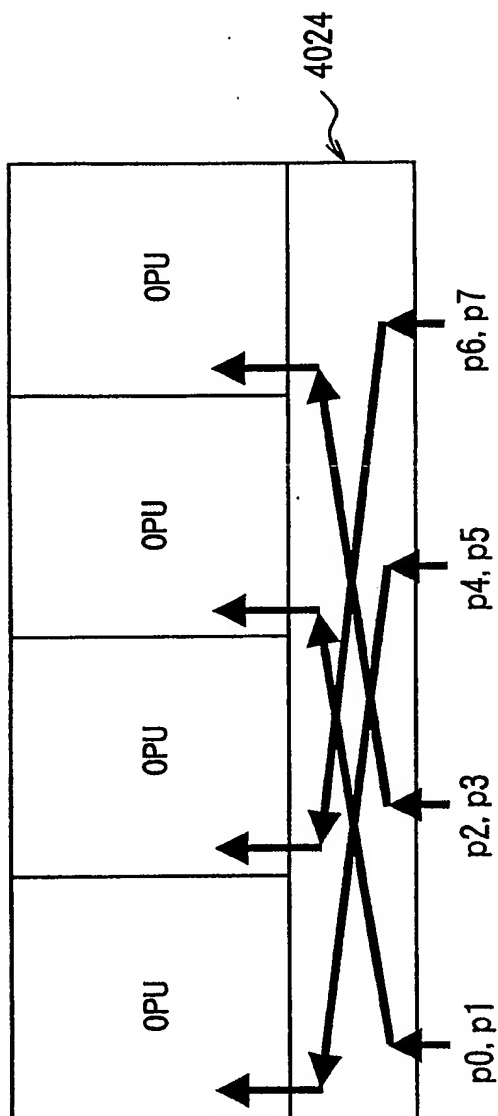


FIG.43

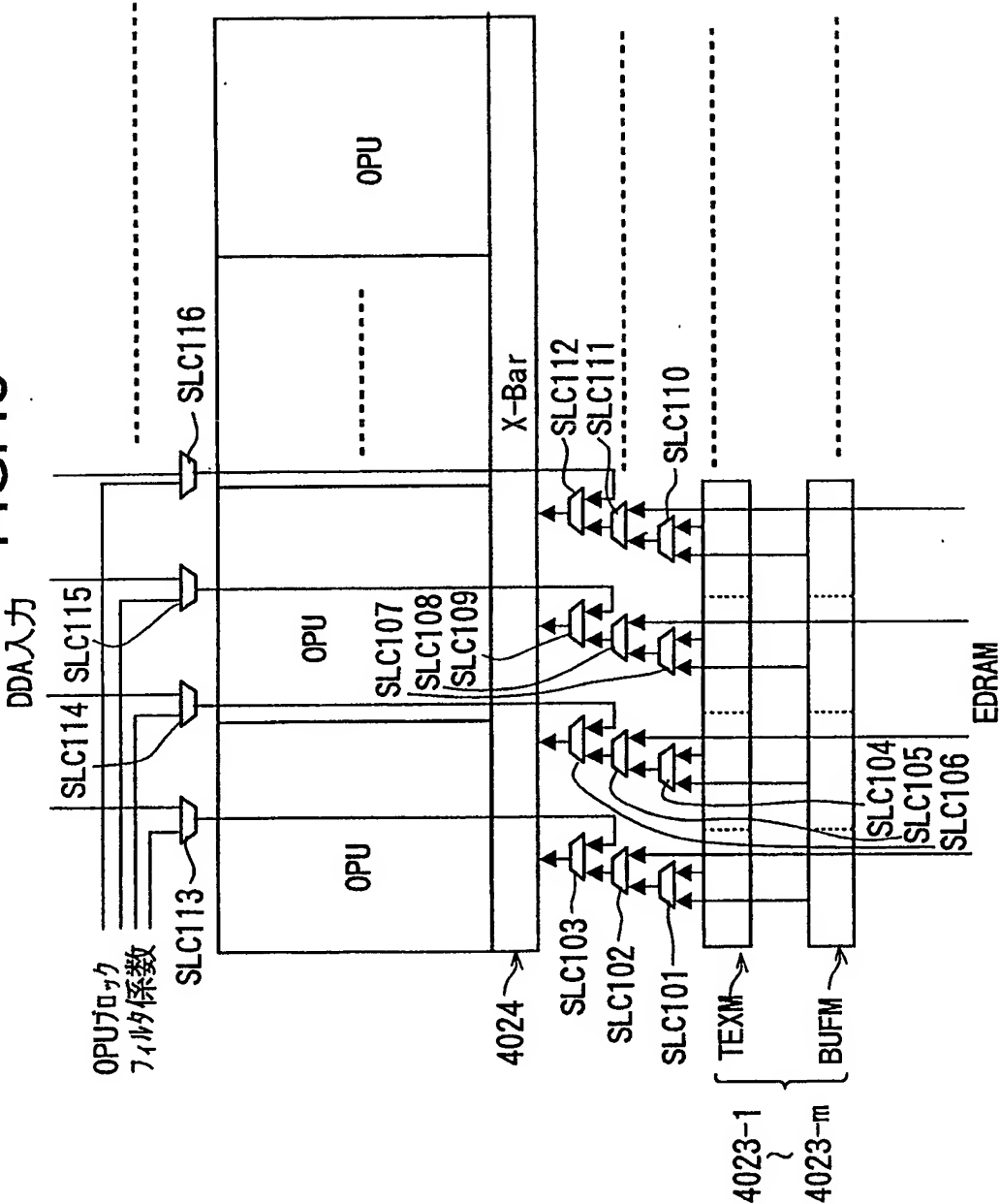


FIG. 44

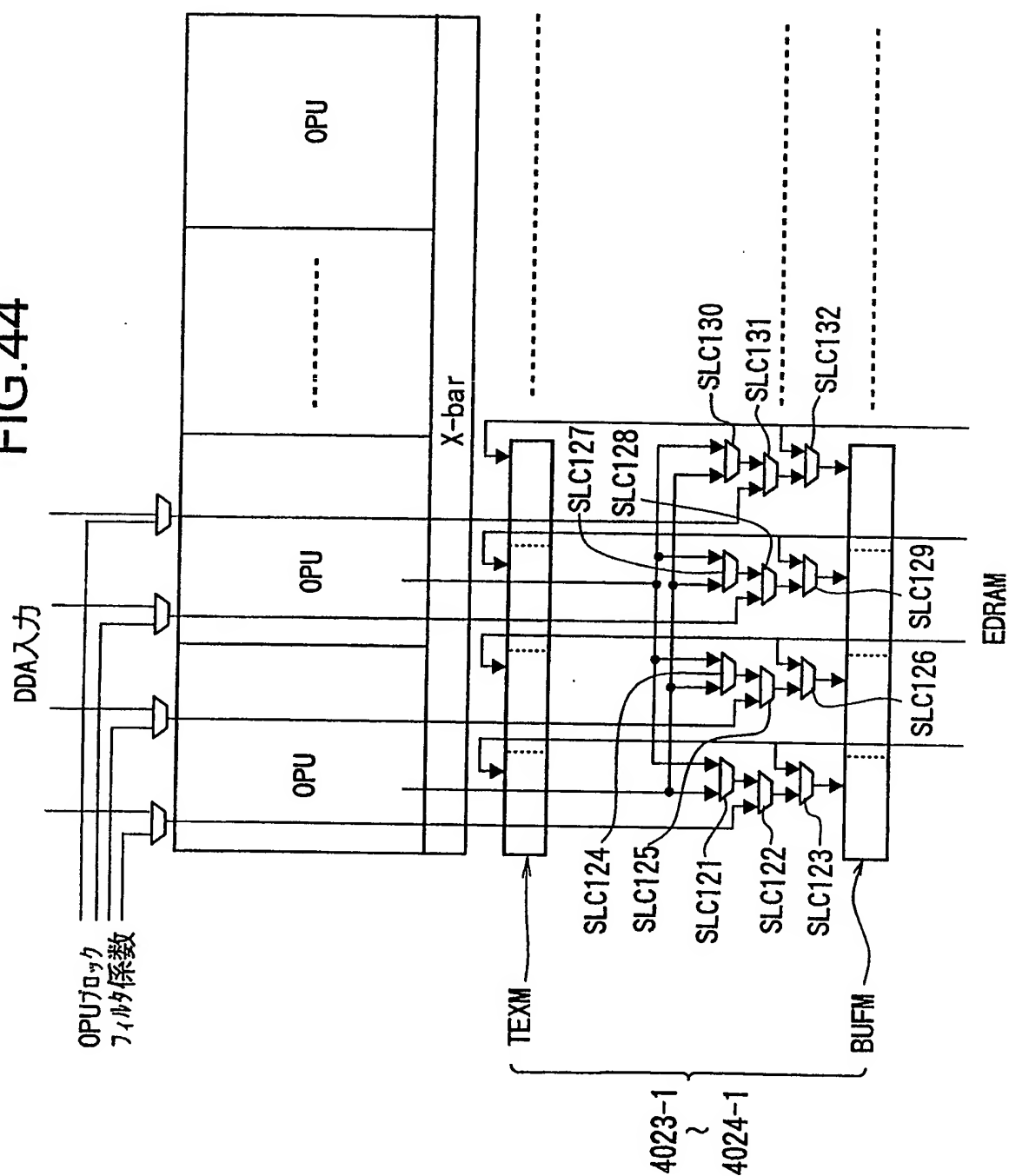


FIG.45A

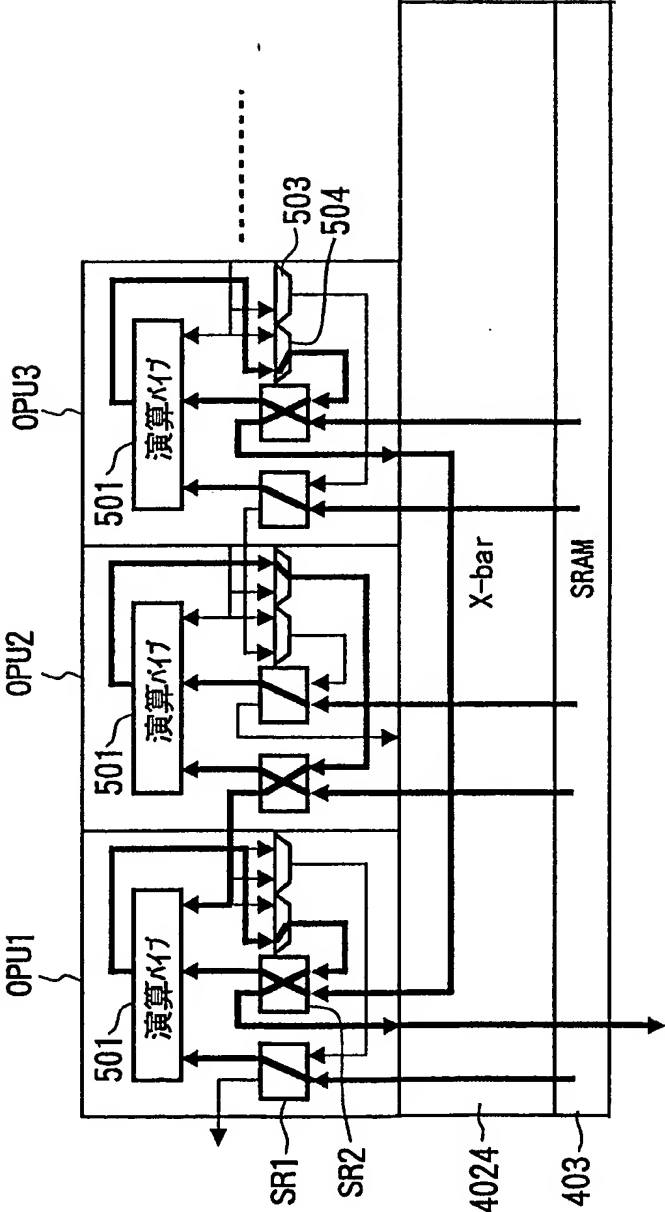


FIG.45B

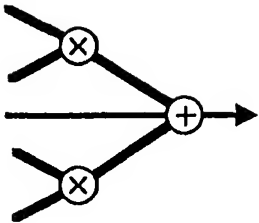


FIG. 46

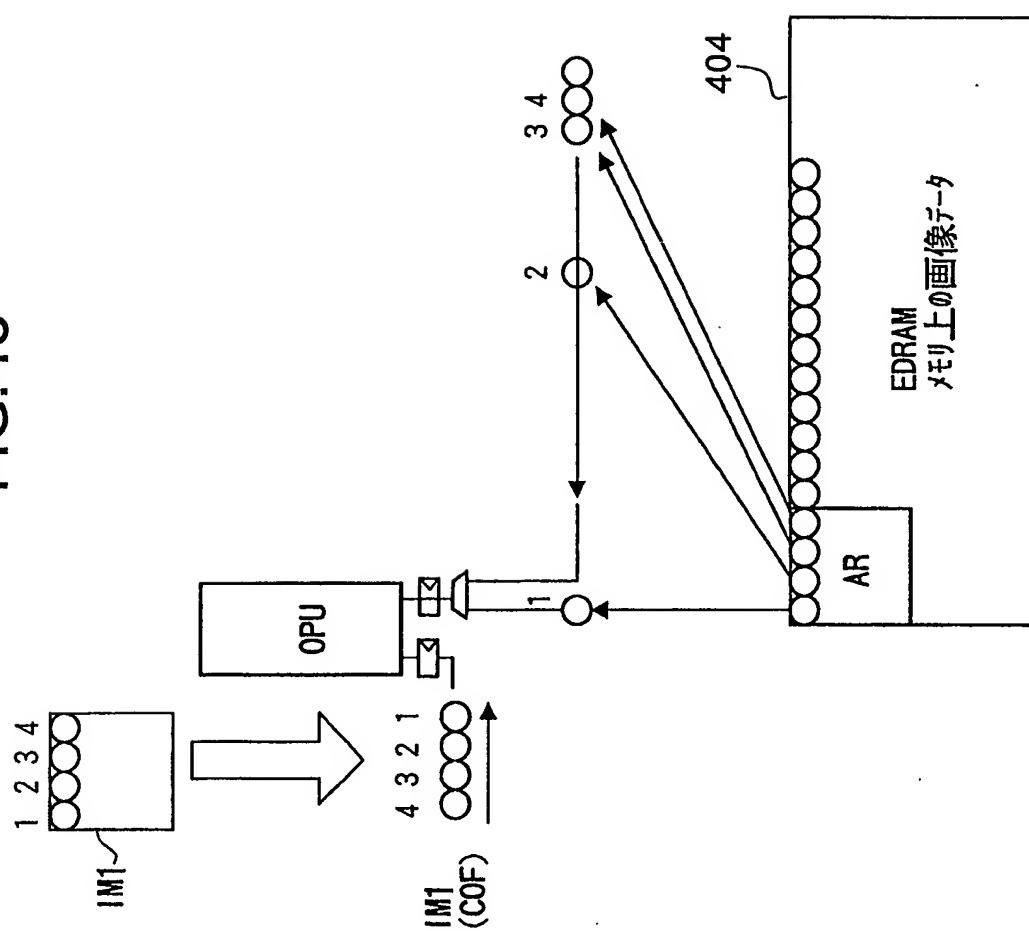


FIG.47

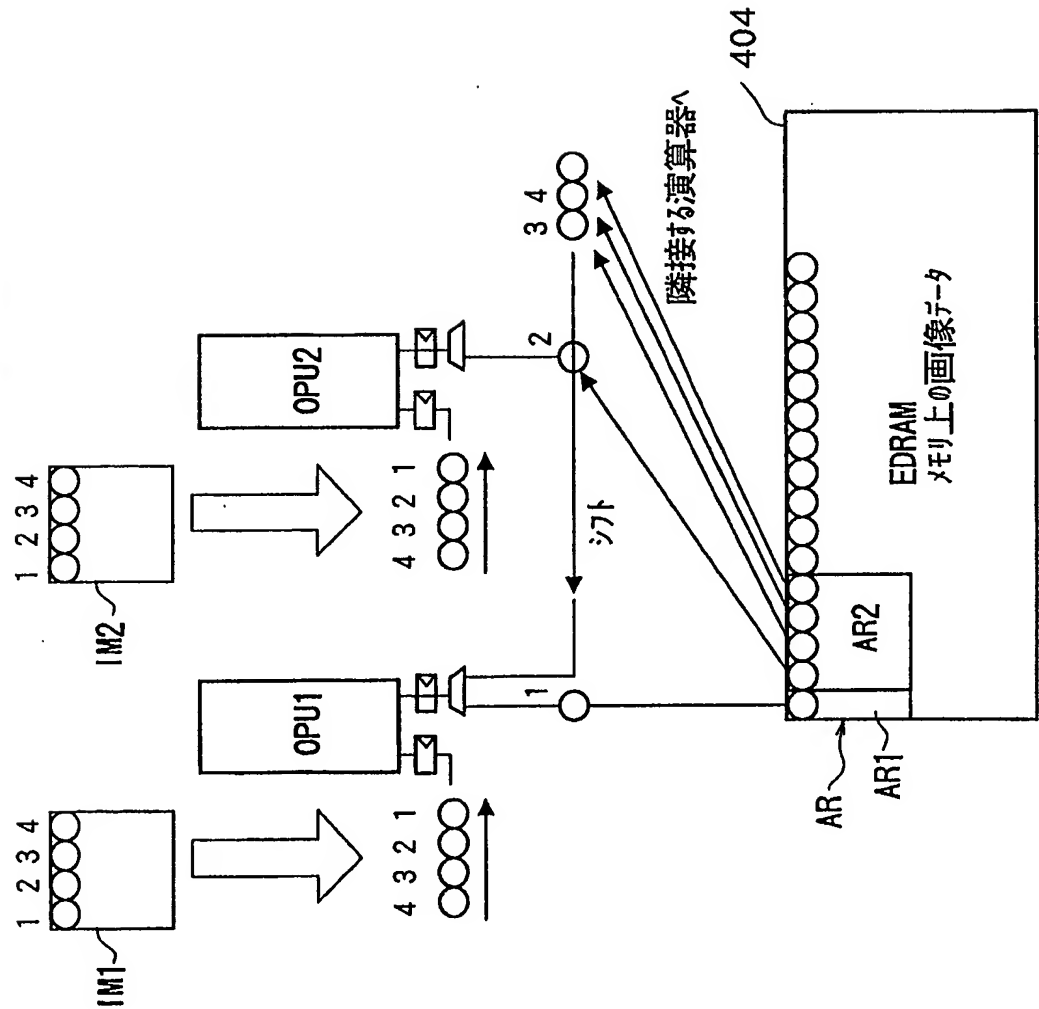


FIG.48A

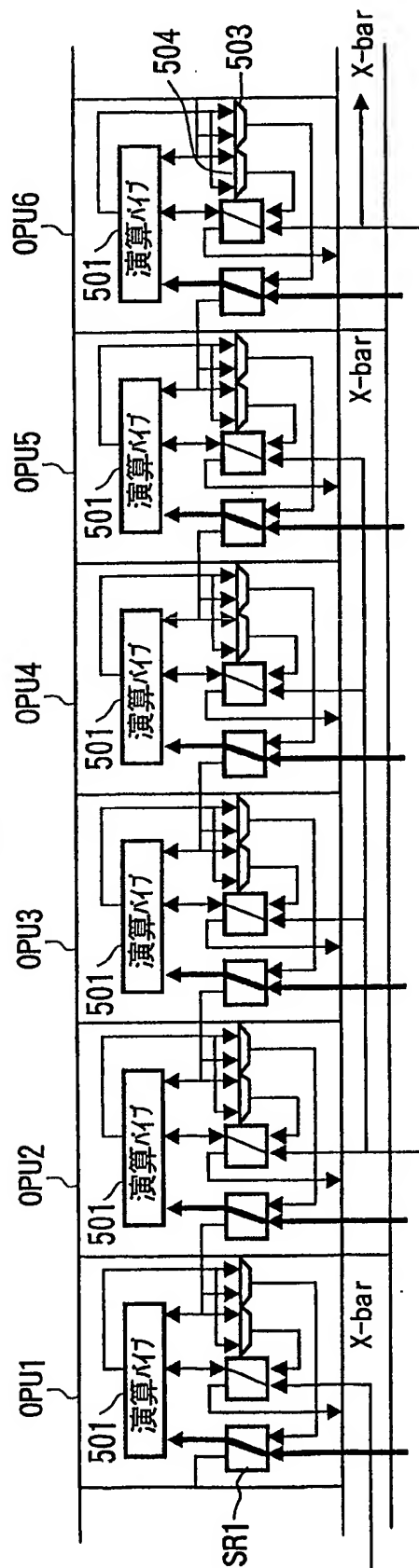


FIG.48B

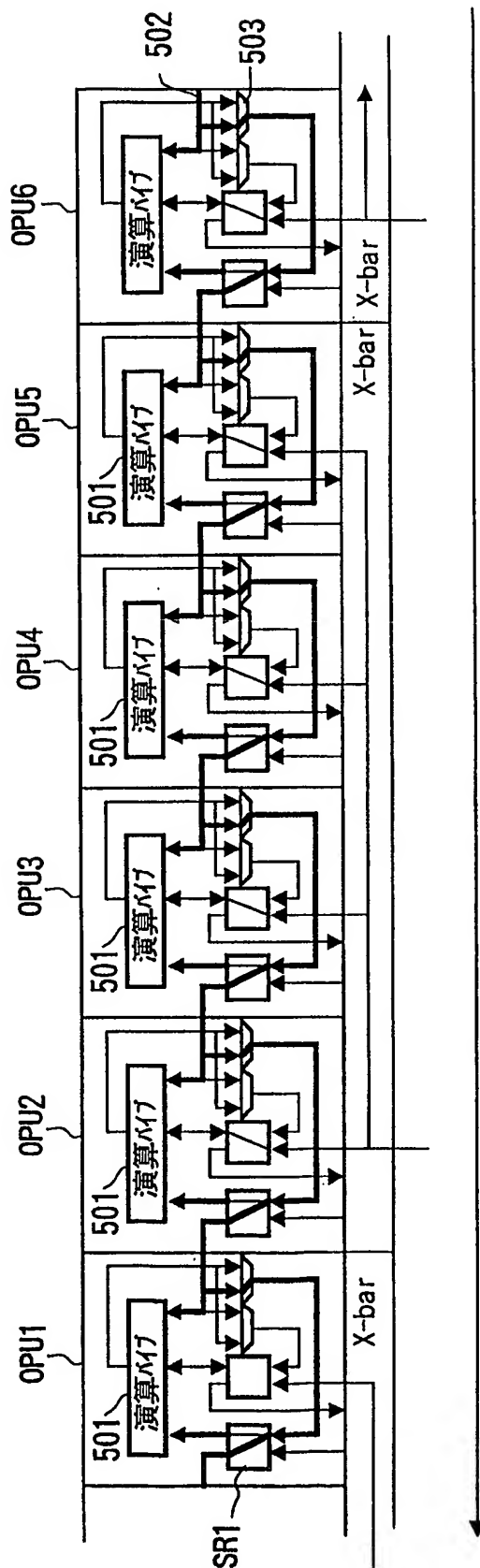


FIG.49

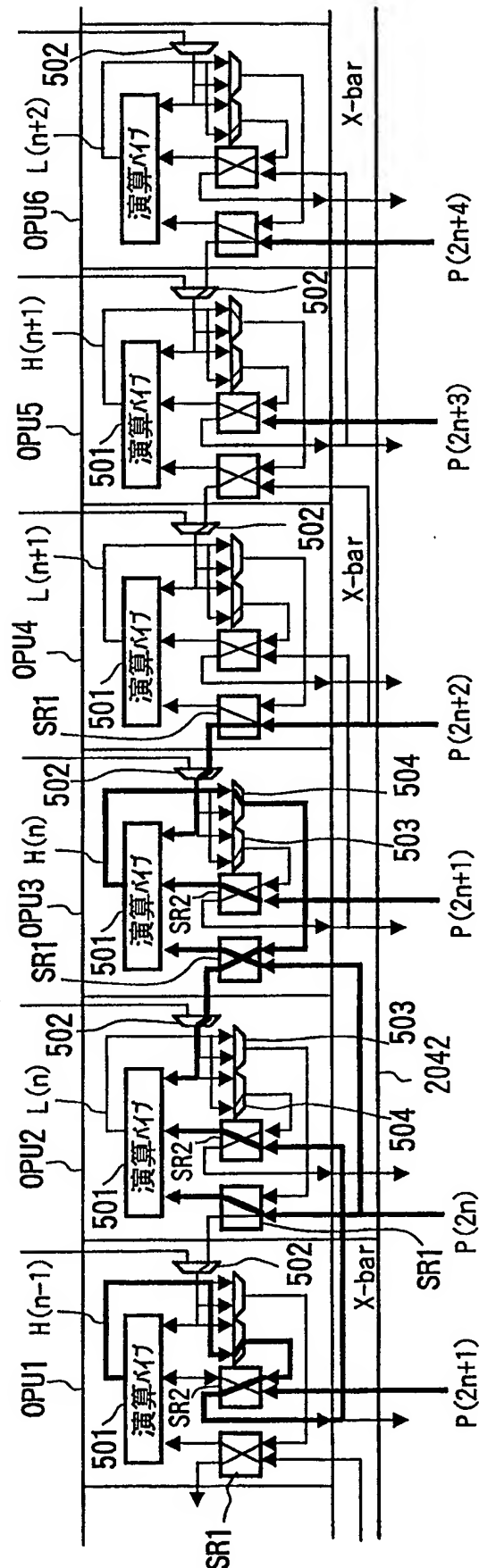


FIG.50

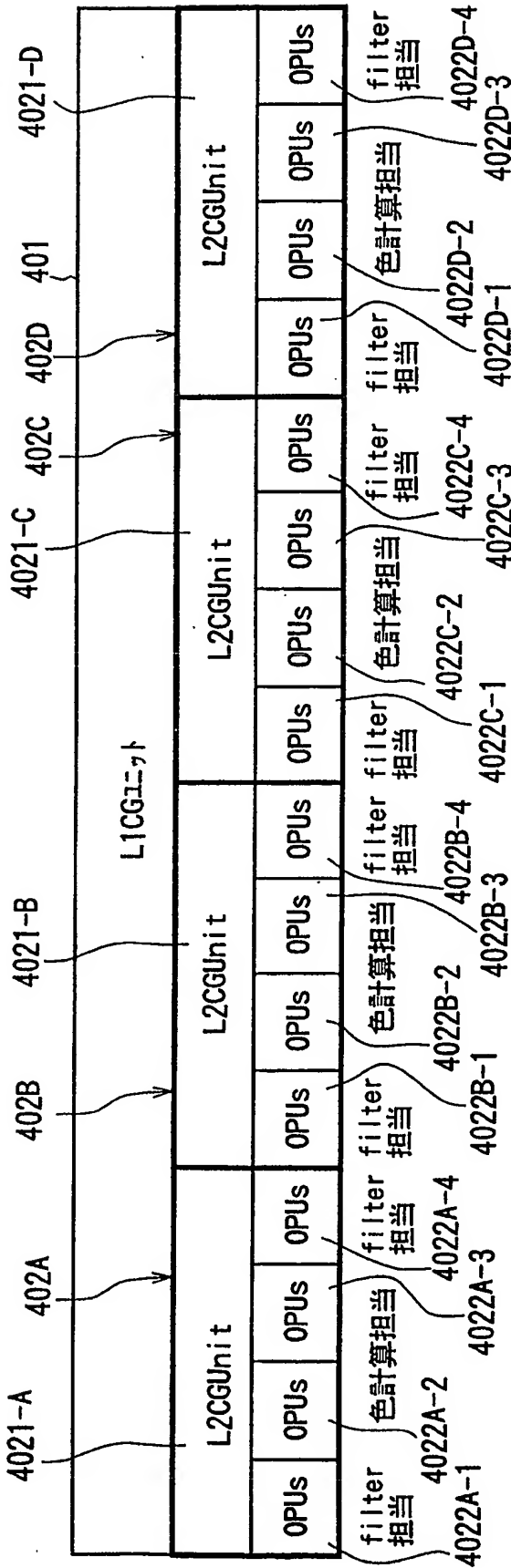


FIG.51

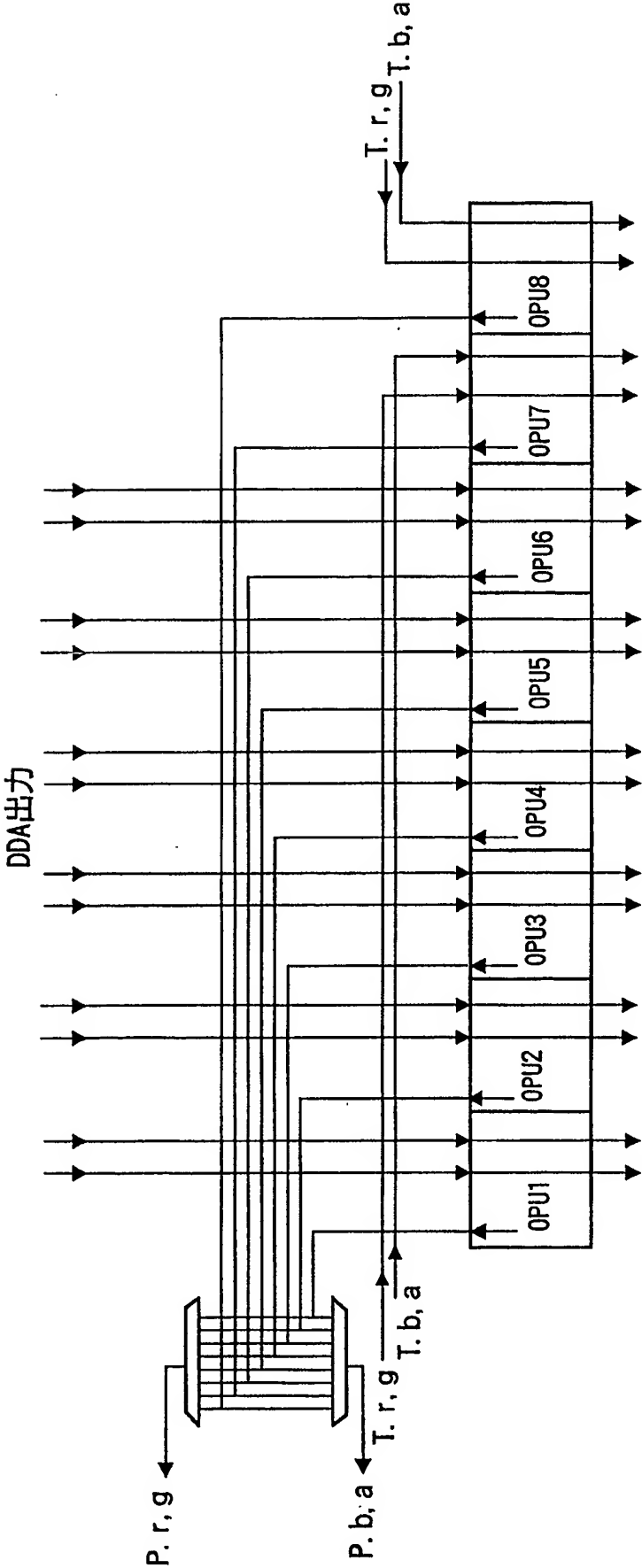


FIG. 52

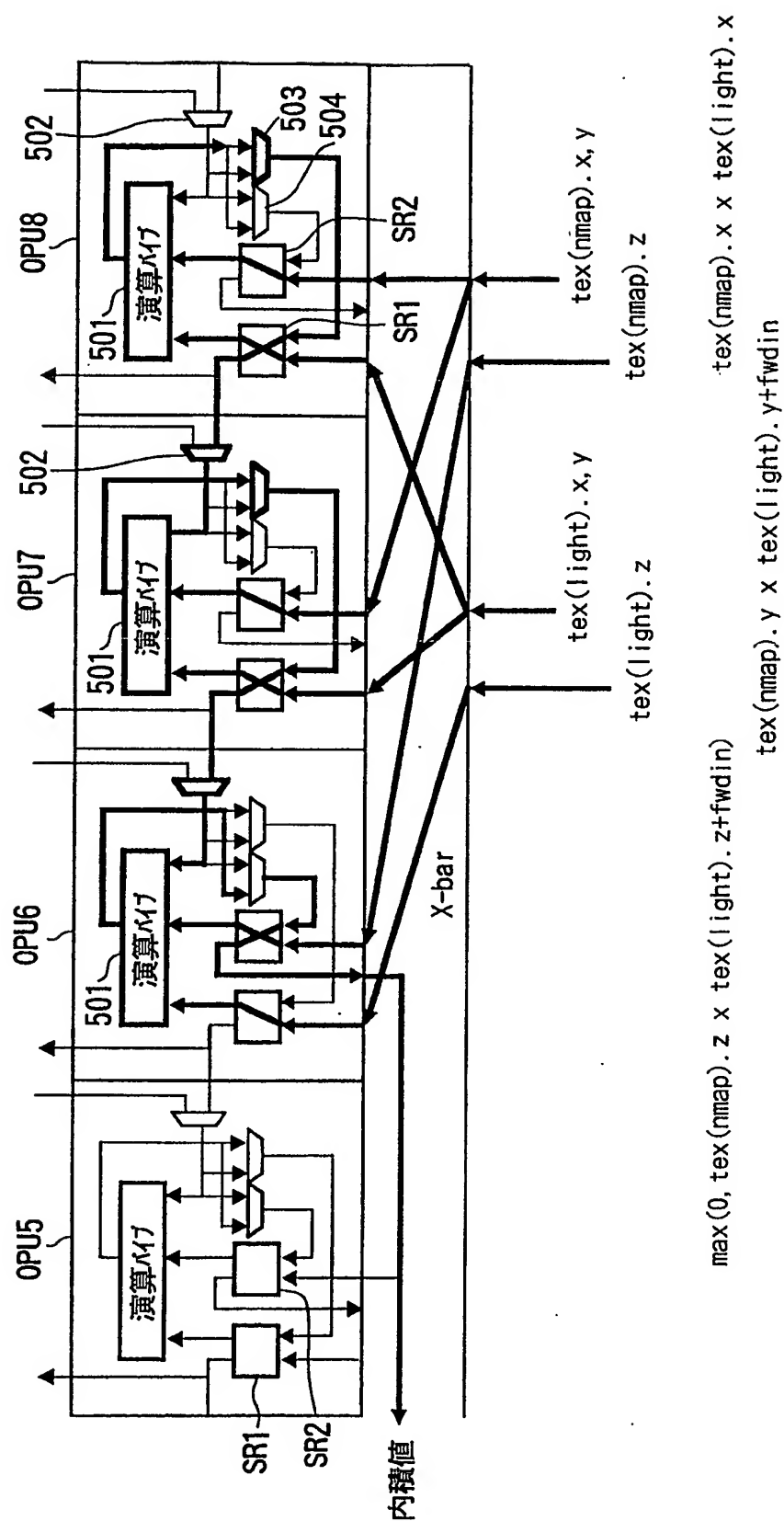


FIG.53

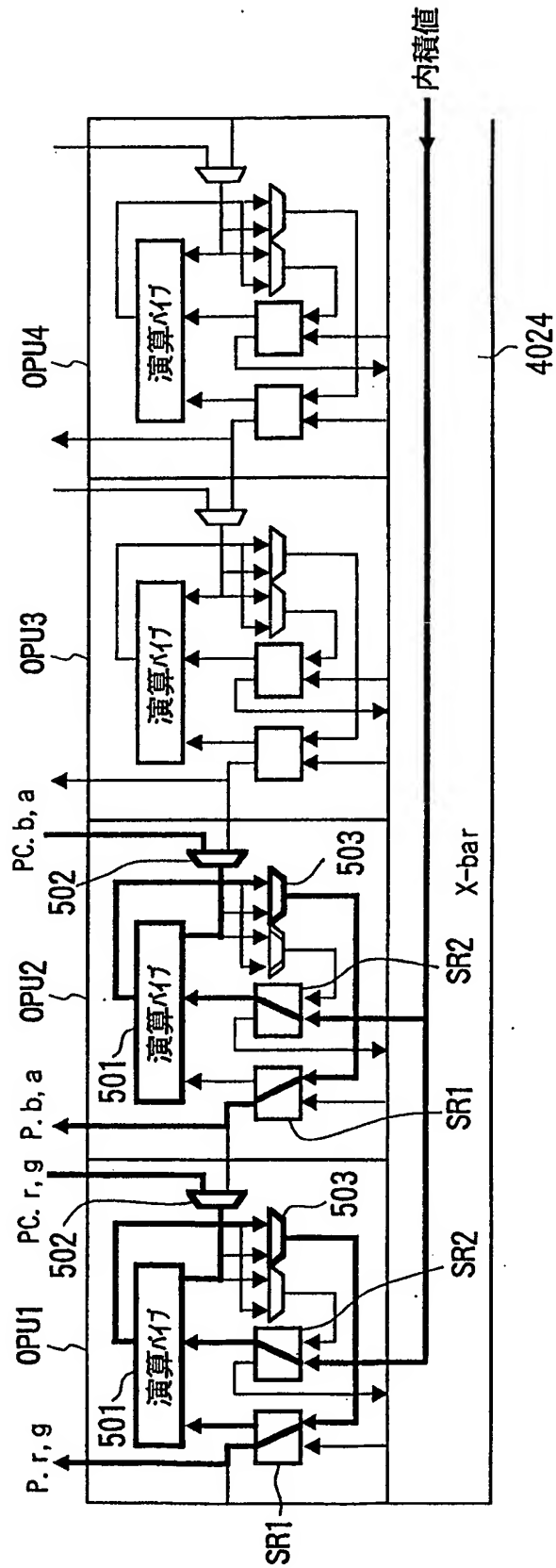
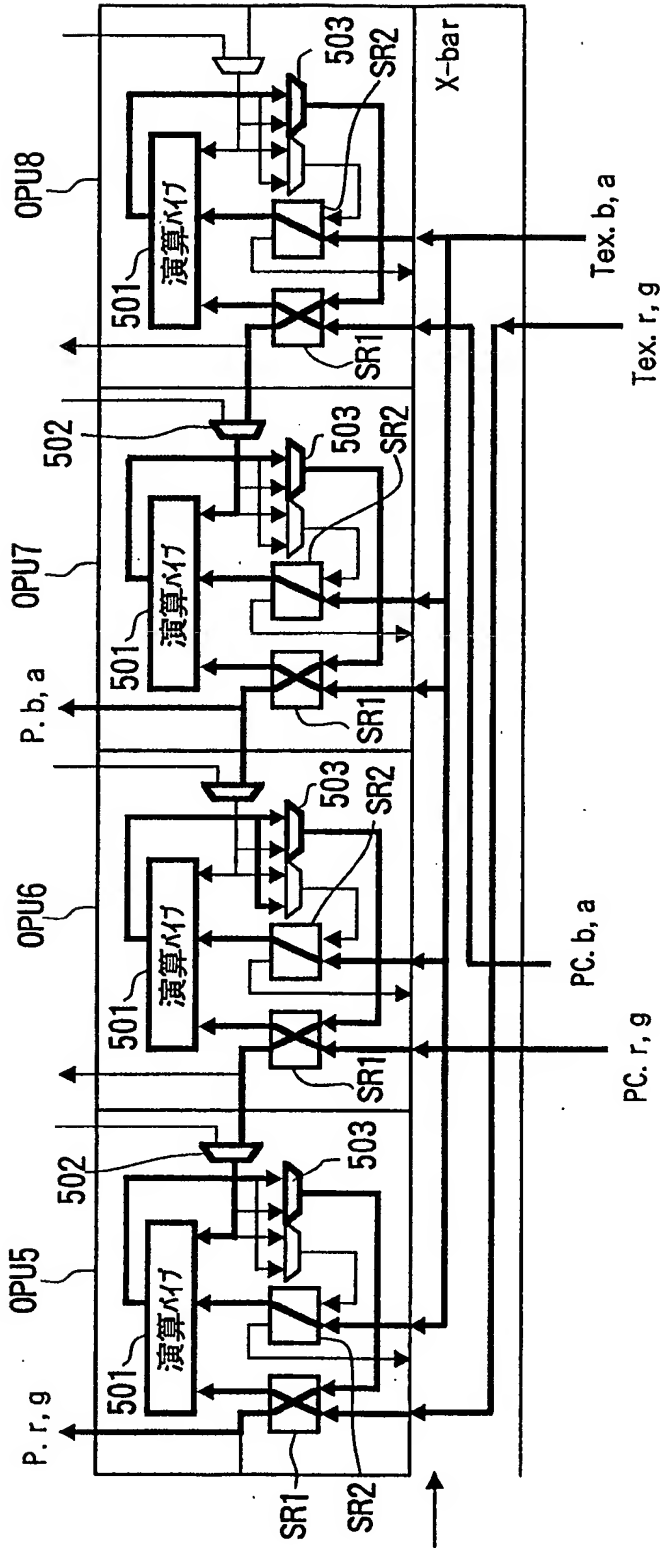


FIG.54



$$\text{out} = \text{Tex. } r \times \text{Tex. } a + \text{out. } r$$
$$\text{Tex. } g \times \text{Tex. } a + \text{out. } g$$

$$\text{out} = \text{Tex. } b \times \text{Tex. } a + \text{out. } b$$
$$\text{Tex. } a \times \text{Tex. } a + \text{out. } a$$

$$\text{out. } r = \text{Pc. } r \times (1 - \text{Tex. } a)$$
$$\text{out. } g = \text{Pc. } g \times (1 - \text{Tex. } a)$$

$$\text{out. } b = \text{Pc. } b \times (1 - \text{Tex. } a)$$
$$\text{out. } a = \text{Pc. } a \times (1 - \text{Tex. } a)$$

FIG.55

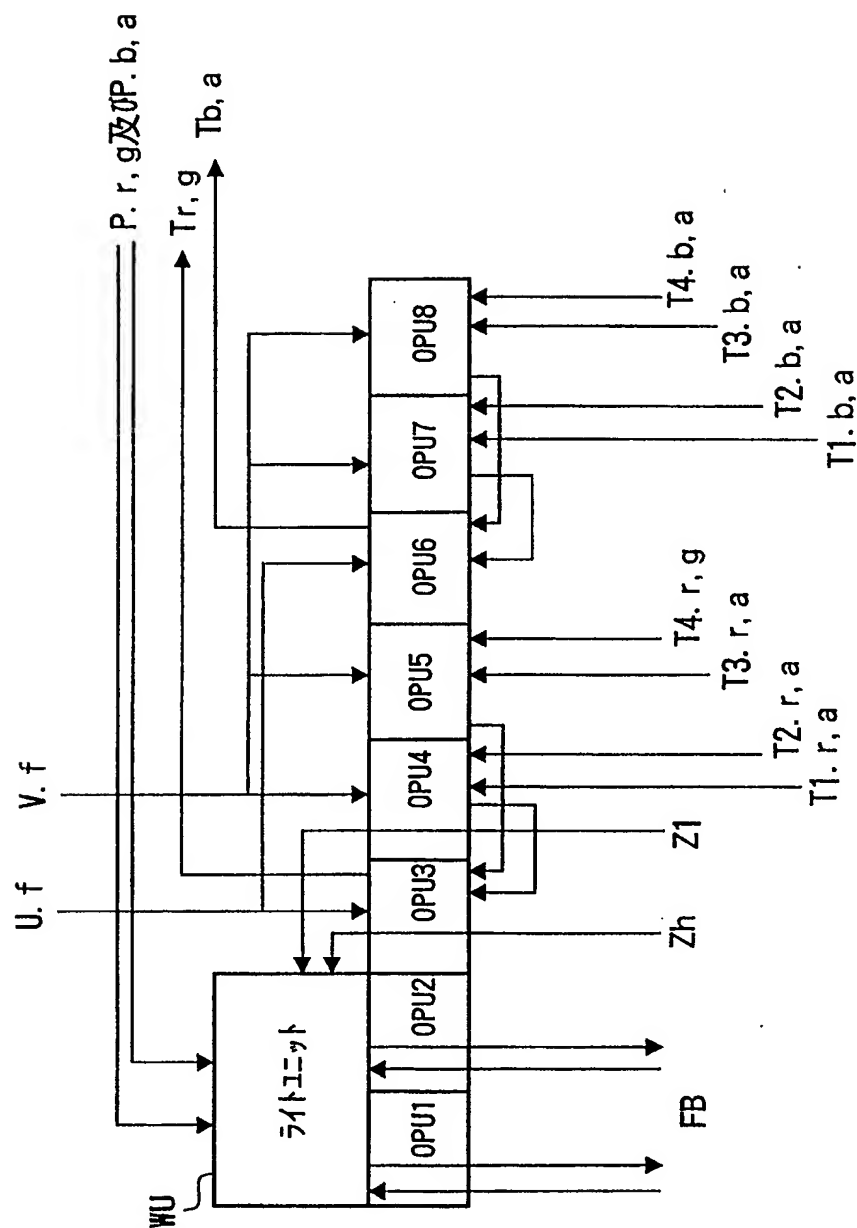
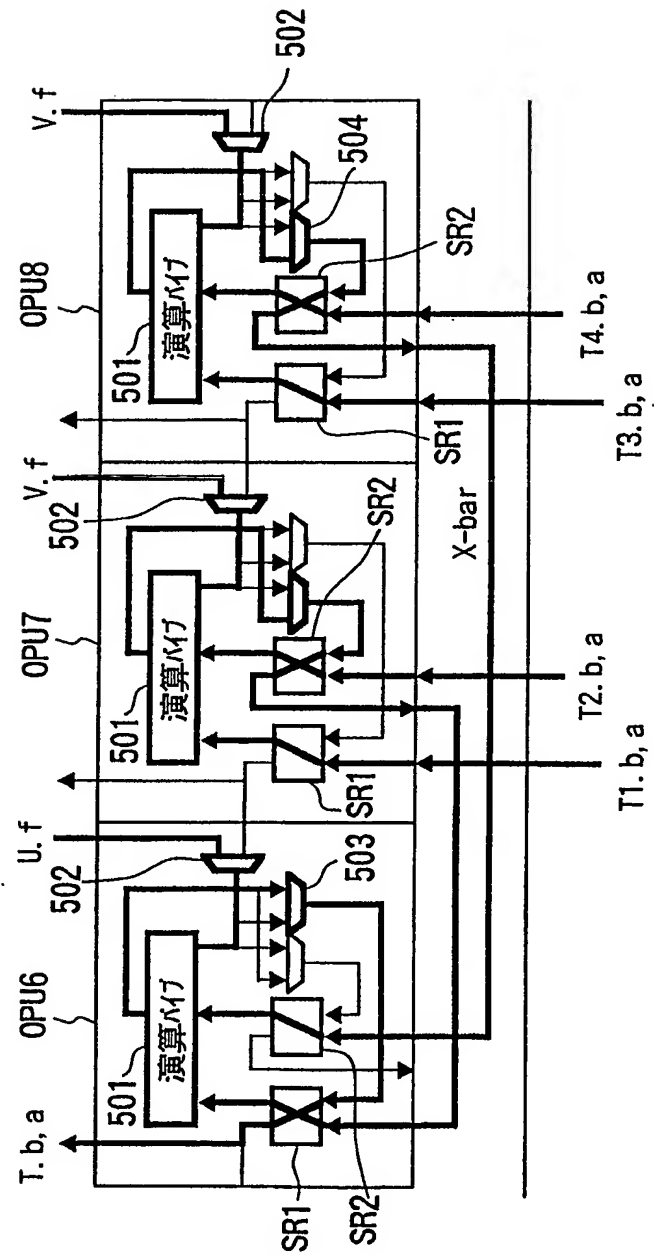


FIG.56



符号の説明

- 1 0…画像処理装置
- 1 1…メインプロセッサ
- 1 2…メインメモリ
- 1 3…I/Oインタフェース回路
- 1 4…レンダリング回路
- 1 4 1…DDAセットアップ回路
- 1 4 2…トライアングルDDA回路
- 1 4 3…テクスチャエンジン回路
- 1 4 4…メモリI/F回路
- 1 4 5…CRTコントローラ回路
- 1 4 6…RAMDAC回路
- 1 4 7…DRAM
- 1 4 7 1～1 4 7 8…DRAMモジュール
- 1 4 7 a…テクスチャバッファ
- 1 4 7 b…ディスプレイバッファ
- 1 4 7 c…z バッファ
- 1 4 7 d…テクスチャCLUTバッファ
- 1 4 8…SRAM
- 1 4 4 1～1 4 4 4…メモリコントローラ
- 1 4 4 5…ディストリビュータ
- 1 4 4 6～1 4 4 9…ピクセル処理モジュール
- 1 4 5 0…DRAM間制御モジュール
- 1 4 7 1～1 4 7 4…DRAMモジュール
- 1 4 8 0…DRAMコア
- 1 4 8 1…ロウデコーダ

1 4 8 2…センスアンプ
1 4 8 3…カラムデコーダ
1 4 8 4…2次メモリ
2 0 0…ロジック部
2 0 1…演算装置
2 0 2…制御回路
2 0 3…メモリ
2 0 1 2…レジスタファイル
2 0 1 2…演算器プール
2 0 1 2 1～2 0 1 2 4…演算部
C C N…接続回路網
O P 1～O P 8…演算器
S L C…セレクタ
3 0 1, 3 0 2…制御回路
4 0 0…画像処理装置
4 0 1…第1のグラフィックスユニット（処理ユニット）
4 0 2, 4 0 2 A～4 0 2 D…コア部
4 0 3-1～4 0 3-m…キャッシュ
4 0 4…E D R A M
4 0 2 1…第2のグラフィックスユニット
4 0 2 2-1～4 0 2 2-m…演算ユニット群
4 0 2 3-1～4 0 2 3-m…ストリームレジスタ群
4 0 2 4-1～4 0 2 4-m…クロスバー回路

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/07366

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G06F7/00, G06F9/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G06F7/00, G06F9/38, H03K19/173, G06T7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-296345 A (Hitachi, Ltd.), 29 October, 1999 (29.10.99), Par. No. [0030] (Family: none)	1, 5-8, 13, 17-20, 25-29, 33-36, 41, 45-48, 53-56
A		2-4, 9-12, 14-16, 21-24, 30-32, 37-40, 42-44, 49-52
A	JP 9-294069 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 11 November, 1997 (11.11.97), (Family: none)	1-56

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 October, 2002 (15.10.02)Date of mailing of the international search report
29 October, 2002 (29.10.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ G06F 7/00, G06F 9/38

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ G06F 7/00, G06F 9/38, H03K19/173, G06T 7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2002年

日本国登録実用新案公報 1994-2002年

日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-296345 A(株式会社日立製作所), 1999. 10. 29, 段落0030(ファミリーなし)	1, 5-8, 13, 17-20, 25-29, 33-36, 41, 45-48, 53-56
A		2-4, 9-12, 14-16, 21-24, 30-32, 37-40, 42-44, 49-52

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15. 10. 02

国際調査報告の発送日

29.10.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田中 友章



5E

9376

電話番号 03-3581-1101 内線 3520

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 9-294069 A(工業技術院長), 1997. 11. 11(ファミリーなし)	1-56